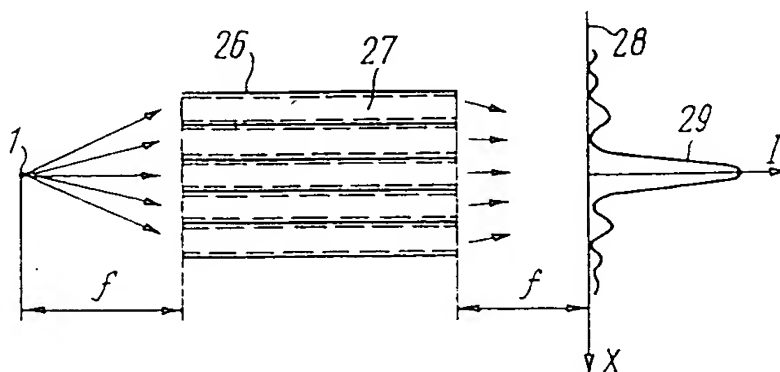


МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ  
С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(51) Международная классификация изобретения <sup>6</sup> : G01N 23/04, G21K 1/06	A1	(11) Номер международной публикации: WO 96/01991 (43) Дата международной публикации: 25 января 1996 (25.01.96)
(21) Номер международной заявки: PCT/RU94/00189 (22) Дата международной подачи: 11 августа 1994 (11.08.94) (30) Данные о приоритете: PCT/RU94/00146 8 июля 1994 (08.07.94) WO (34) Страны, для которых была подана региональная или международная заявка: US и др. PCT/RU94/00168 27 июля 1994 (27.07.94) WO (34) Страны, для которых была подана региональная или международная заявка: US и др. (71)(72) Заявитель и изобретатель: КУМАХОВ Мурадин Абубекирович (RU/RU); 123103 Москва, набережная Новикова-Прибоя, д. 5, корп. 2, кв. 34 (RU) [KUMAKHOV, Muradin Abubekirovich, Moscow (RU)].		(74) Агент: ПАТЕНТНЫЕ ПОВЕРЕННЫЕ ДЕМЕНТЬЕВ, КЛЮКИН И ПАРТНЕРЫ; 109388 Москва, а/я 107 (RU) [PATENTNYE POVERENNYE DEMENTIEV, KLJUKIN I PARTNER, Moscow (RU)]. (81) Указанные государства: CA, JP, US, европейский патент (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Опубликована С отчетом о международном поиске.

(54) Title: DEVICE FOR OBTAINING AN IMAGE OF AN OBJECT USING A STREAM OF NEUTRAL OR CHARGED PARTICLES AND A LENS FOR CONVERTING THE SAID STREAM OF NEUTRAL OR CHARGED PARTICLES

(54) Название изобретения: УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ПОТОКА НЕЙТРАЛЬНЫХ ИЛИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И ЛИНЗА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОТОКА НЕЙТРАЛЬНЫХ И ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ



## (57) Abstract

The device according to the first invention is intended for use in the creation of an image of an object using radiation which passes through the object, is scattered by it or generated within it. A lens is provided between the radiation source and the object positioning system, or between that system and an image-forming system which registers the intensity distribution of the radiation incident on it, or in both these spaces. This lens is designed in accordance with the second invention and converts the particle stream (focusing of divergent or quasi-parallel rays, formation of quasi-parallel rays from divergent rays, monochromatization, spatial separation of particles of different energies in an initial non-monochromatic stream, etc.). The lens comprises a set of channels for radiation transport (primarily in the form of vitreous mono- and polycapillaries) and is distinguished by an arrangement of the channels in its cross section which is in keeping with axial symmetry (reflectional, central, rotational); this results in a point of interference of the rays emerging from it. The channels can be grouped together in longitudinally and axially configured modules (30), each of which in its turn can be formed by finer modules (31) of the same

Устройство по первому изобретению предназначено для получения изображения объекта с помощью прошедшего через него либо рассеянного им или возбужденного в нем излучения. Между источником излучения и средством для размещения объекта или между этим средством и средством для формирования изображения, регистрирующим распределение интенсивности падающего на него излучения (или в обоих этих промежутках) установлена линза, выполненная в соответствии со вторым изобретением, осуществляющая преобразование потока частиц (фокусирование расходящегося или квазипараллельного излучения, формирование квазипараллельного излучения из расходящегося, монохроматизацию, разделение в пространстве частиц разной энергии, содержащихся в исходном немонохроматическом потоке, и др.). Линза, содержащая совокупность каналов транспортировки излучения (преимущественно в виде стеклянных моно- или поликапилляров), отличается расположением каналов в ее поперечном сечении упорядоченно с соблюдением осевой симметрии (зеркальной, центральной, вращательной), благодаря чему имеет место интерференция выходящего из нее излучения. Каналы могут быть сгруппированы в упорядоченно и симметрично расположенные модули 30, каждый из которых, в свою очередь, может быть образован более мелкими модулями 31, имеющими такие же количество, форму и взаимное расположение.

#### ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Коды, используемые для обозначения стран-членов РСТ на титульных листах брошюр, в которых публикуются международные заявки в соответствии с РСТ.

AT	Австрия	FI	Финляндия	MR	Мавритания
AU	Австралия	FR	Франция	MW	Малави
BB	Барбадос	GA	Габон	NE	Нигер
BE	Бельгия	GB	Великобритания	NI	Нидерланды
BF	Буркина Фасо	GN	Гвинея	NO	Норвегия
BG	Болгария	GR	Греция	NZ	Новая Зеландия
BJ	Бенин	HU	Венгрия	PL	Польша
BR	Бразилия	IE	Ирландия	PT	Португалия
CA	Канада	IT	Италия	RO	Румыния
CF	Центральноафриканская Республика	JP	Япония	RU	Российская Федерация
BY	Беларусь	KR	Корейская Народно-Демократическая Республика	SD	Судан
CG	Конго	KR	Корейская Республика	SE	Швеция
CH	Швейцария	KZ	Казахстан	SI	Словения
CI	Кот д'Ивуар	LI	Лихтенштейн	SK	Словакия
CM	Камерун	LK	Шри-Ланка	SN	Сенегал
CN	Китай	LU	Люксембург	TD	Чад
CS	Чехословакия	LV	Латвия	TG	Того
CZ	Чешская Республика	MC	Монако	UA	Украина
DE	Германия	MG	Мадагаскар	US	Соединенные Штаты Америки
DK	Дания	ML	Мали	UZ	Узбекистан
ES	Испания	MN	Монголия	VN	Вьетнам

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ  
ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ПОТОКА НЕЙТРАЛЬНЫХ  
ИЛИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И ЛИНЗА ДЛЯ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОТОКА НЕЙТРАЛЬНЫХ ИЛИ  
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Область техники

Изобретения относятся к средствам для получения изображения объекта радиационными методами при проведении исследования объекта или при формировании рисунка, соответствующего структуре объекта заданной конфигурации, и средствам для управления потоком нейтральных или заряженных частиц, а именно для поворота пучков таких частиц, их фокусировки, преобразования расходящегося излучения в квази-параллельное и наоборот, его фильтрации и монохроматизации, разделения частиц, обладающих различными энергиями, и др. как в процессе получения изображения объекта, так и при решении иных задач в областях медицины, ядерной физики и др.

Предшествующий уровень техники

Известны методы исследования объектов с получением изображения их структуры путем воздействия на них потоком нейтральных или заряженных частиц (нейтронов, электронов,  $\gamma$ -квантов, рентгеновского излучения и др.) и регистрации распределения интенсивности излучения, являющегося результатом взаимодействия с объектом. Полученное изображение интерпретируется как распределение свойств взаимодействия с используемым излучением, присущих различным элементам объекта, в частности как двумерная проекция пространственного распределения ослабления излучения при прохождении его через объект (см.: Автоматизация производства и промышленная электроника. М., "Советская энциклопедия", 1964, т.3, с.277; т.1, с.209).

Известны также аналогичные методы, применяемые в электронной, рентгеновской и др. литографии при формировании

- 2 -

заданного рельефа, соответствующего известной структуре специально изготовленного объекта (шаблона, маски), см., например: Электроника. Энциклопедический словарь, М., 5 "Советская энциклопедия", 1991, с.254-255).

Такие методы реализуются устройствами, содержащими источник излучения, средство для размещения объекта с возможностью воздействия на него излучения и средство для регистрации изображения, чувствительное к излучению, явля- 10 щемуся результатом взаимодействия излучения источника с объектом.

При реализации этих методов без применения средств управления первичным потоком частиц или потоком, являющимся результатом взаимодействия с объектом, в частности, спек- 15 тром, направлением, шириной, расходимостью и др. параметрами пучка, возможности их весьма ограничены.

Известны радиационные методы получения изображения объекта, использующие описанный выше принцип, реализуемые с помощью устройств, содержащих наряду с указанными сред- 20 ствами оптические элементы, позволяющие решать некоторые из названных проблем, в частности управление шириной пучка, селекцию частиц, отклоняющихся от заданного направления (см.: Физика визуализации изображений в медицине, под ред. С.Уэбба, М., "Мир", 1991, с.41, 101, 134). Помимо час- 25 тного характера решаемых проблем следует отметить, что используемые при этом принципы требуют наличия источника излучения, располагающего избыточной интенсивностью.

Использование других видов оптики в устройствах об- суждаемого назначения рассмотрено в сборнике: Рентгеновс- 30 кая оптика и микроскопия, под ред. Г.Шмаля и Д.Рудольфа, М., "Мир", 1987; в частности, описано использование зонных пластинок Френеля для фокусирования пучков (с.87), зеркаль- ной оптики скользящего падения (с.174). Однако зонным плас- тинкам Френеля в силу особенностей используемого физичес- 35 кого принципа присуща чрезвычайно высокая селективность по энергии (длине волны) частиц, и они не могут быть примене- ны для управления излучением, имеющим широкий спектр. Кро-

- 3 -

ме того, как отмечается в упомянутом сборнике, размеры таких пластинок должны быть весьма малы, и устройствам использующим их, присущи малые угловая апертура и светосила. Что же касается упомянутой зеркальной оптики, то ввиду крайне малых значений углов полного внешнего отражения для излучений обсуждаемых диапазонов в ней при практически приемлемых геометрических размерах реализуется, как правило, однократное отражение. Располагая ограниченными возможностями управления пучками, устройства, использующие такую оптику, имеют, кроме того, крайне малую угловую апертуру, соответствующую малым значениям угла полного внешнего отражения.

Более совершенно устройство для получения изображения объекта по патенту США № 5175755 (опубл. 29.12.91), в котором для управления потоком излучения используется оптическая система в виде линзы, образованной набором каналов с отражающими стенками, транспортирующих излучение. В устройстве с такой оптической системой имеются разнообразные возможности управления потоком частиц, отмеченные в названном патенте США, в частности, преобразование расходящегося излучения в квазипараллельное перед воздействием на объект, транспортировка излучения, обладающего широким спектром, в сочетании с возможностью отсечения жесткой части излучения, трансформирование размера получаемого изображения.

Конструкция линзы для преобразования потока нейтральных или заряженных частиц, более совершенной по сравнению с упомянутыми выше средствами для управления потоком частиц и пригодной для использования в составе устройства для получения изображения объекта, описана в патенте США № 5192869 (опубл. 09.03.93). В этой линзе применены жесткие опорные элементы, расположенные на определенных расстояниях друг от друга по длине линзы и обеспечивающие жесткую фиксацию каналообразующих элементов в местах прохождения их через отверстия опорных элементов. Выбором расположения этих отверстий достигается соответствие осевых линий отдельных каналов образующим поверхностям требу-

- 4 -

- емой формы. Для обеспечения условий транспортировки излучения по каналам без значительных потерь поперечные размеры каждого отдельного канала должны быть как можно меньше.
- 5 Однако описанная конструкция, предполагающая использование механической сборки, лимитирует минимальный размер каналов в поперечном сечении. В частности, при выполнении каналов транспортировки в виде стеклянных капилляров или поликапилляров при диаметре порядка 300 микрон теряются
- 10 их свойства, необходимые для сборки. Они начинают "парить" в воздухе, им невозможно придать нужный радиус кривизны при сборке, происходит "провисание" капилляров между точками опоры. Это ограничение в диаметре приводит к тому, что невозможно фокусировать излучение в пятно, меньшее
- 15 диаметра капилляра или внешнего диаметра поликапилляра. Наименьший диаметр фокусного пятна, достигнутого на таких линзах, составляет 0,5 мм, что означает невозможность получения высокой концентрации излучения из-за слишком большого диаметра фокусного пятна.
- 20 Конечный размер каналов накладывает ограничение на диапазон используемых энергий. При заданном фокусном расстоянии  $f$ , даже если источник является точечным, минимальный угол падения на периферийную область капилляра составляет  $\theta = d/2f$ , где  $d$  - диаметр канала.
- 25 Для эффективной транспортировки излучения желательно, чтобы параметр  $\theta$  был близок или даже меньше критического угла отражения  $\theta_c$ , так как с увеличением энергии критический угол уменьшается. Это условие ограничивает использование высоких энергий в линзах первого и
- 30 второго поколений. Например, для энергии рентгеновского излучения  $E = 10$  кэВ захват излучения в капилляр не превышает 15%, а при увеличении фокусного расстояния уменьшается угол захвата, то есть эффективность системы. Из вышеизложенного следует, что необходимо переходить к каналам
- 35 транспортировки, имеющим в поперечном сечении размеры вплоть до микронов и субмикронов, что невозможно по названным выше причинам в описанной конструкции, требующей использования механической сборки при ее изготовлении. Меха-

- 5 -

ническая сборка приводит еще к одному недостатку. Угловая расходимость определяется выражением:  $\Delta\theta = \Delta L/L$ , где  $\Delta L$  - сумма вариаций диаметра капилляра и отверстия в опорном диске,  $L$  - расстояние между дисками, не превышающее 1-3 см. При  $\Delta L$  около 10% от указанных диаметров и величине последних порядка 500 микрон  $\Delta\theta$  имеет порядок  $5 \cdot 10^{-3}$  радиан, что во многих приложениях неприемлемо.

Описанные устройства и линза по патентам США № 5175755 и № 5192869 наиболее близки к предлагаемым. Их возможности, кроме отмеченных факторов, ограничены тем, что используются лишь каналирующие свойства отдельных каналов, функционирующих независимо друг от друга. При этом волновые свойства каналируемых частиц проявляются только в процессе их отражения от стенок каналов, по которым они транспортируются, поскольку в конструкции линзы не приняты меры для проявления эффекта взаимодействия частиц после транспортировки их по разным каналам. Это ограничивает достигаемую степень концентрации излучения геометрической точностью ориентации каналов на желаемую точку, а также не позволяет осуществлять разделение частиц по энергии в случаях, когда это необходимо, монохроматизировать излучение с помощью самой линзы, не прибегая для этого к использованию других средств. Указанные ограничения негативным образом сказываются на возможностях устройства для получения изображения объекта, содержащего оптическую систему в виде линзы, образованной набором каналов с отражающими стенками для транспортировки излучения, в частности, препятствуют повышению разрешающей способности, снижению лучевой нагрузки на исследуемый объект, уменьшению мощности используемого источника излучения.

#### Раскрытие изобретений

Предлагаемым изобретением, относящимся к устройству для получения изображения объекта, решается задача повышения эффективности использования излучения в виде потока нейтральных или заряженных частиц при получении изображения в виде распределения интенсивности излучения после вза-

- 6 -

- имодействия с объектом. Обеспечиваемый при этом технический результат заключается в большей разрешающей способности в сочетании с уменьшением лучевого воздействия на объект при одновременном увеличении интенсивности излучения, воздействующего на чувствительные элементы средства формирования изображения. Названные факторы в совокупности способствуют расширению номенклатуры исследуемых сред и сред, являющихся носителями получаемого изображения.
- 10 Изобретением, относящимся к линзе для преобразования потока нейтральных или заряженных частиц, решаются задачи повышения достижимой степени концентрации излучения, в том числе концентрации излучения, соответствующего различным длинам волн входного потока, в разных областях пространства. В конструкции линзы по предлагаемому изобретению 15 преодолевается также влияние технологических ограничений, присущих известной линзе, наиболее близкой к предлагаемой.

Кроме того, предлагаемые изобретения обеспечивают получение других видов технического результата в различных частных случаях их выполнения и использования, описываемых 20 ниже.

- Предлагаемое устройство для получения изображения объекта, как и известное устройство по патенту США № 5175755, содержит источник излучения в виде потока нейтральных или заряженных частиц, средство для размещения 25 объекта с возможностью воздействия на него излучения, создаваемого источником, средство для формирования изображения, выполненное с возможностью регистрации распределения интенсивности излучения после взаимодействия с объектом, и оптическую систему. Последняя имеет, по меньшей мере, одну линзу для преобразования потока частиц, установленную между источником излучения и средством для размещения объекта или между этим средством и средством для 30 формирования изображения, образованную набором каналов с отражающими стенками для транспортировки излучения. В отличие от известного устройства, в предлагаемом все или часть каналов, образуя их линзу для преобразования потока частиц, расположены в ее поперечном сечении упорядоченно с соблюдением осевой симметрии.



- 7 -

При этом для совокупности каналов, расположенных в поперечном сечении линзы упорядоченно, может быть соблюдено, в частности, условие зеркальной симметрии относительно одной или двух взаимно перпендикулярных осей указанного сечения. Возможно также упорядоченное расположение каналов с <sup>продольной</sup>соблюдением центральной или вращательной симметрии относительно <sup>продольной</sup>оси линзы.

Именно соблюдение условия симметрии делает возможным когерентное взаимодействие после выхода из линзы частиц одинаковой энергии, пришедших по различным путям от источника излучения в одну и ту же точку пространства, и возникновение интерференционных явлений, приводящих, в конечном счете, к упомянутому выше техническому результату.

Линза для преобразования потока частиц (любая из таких линз, входящих в состав оптической системы, когда их несколько) может быть образована плотно уложенными миниатюрными линзами, в совокупности имеющими поперечное сечение, изменяющееся по длине линзы в соответствии с требуемым продольным профилем линзы. Такое выполнение линзы исключает необходимость использования опорных элементов как средств, формирующих продольный профиль линзы и определяющих форму ее каналов, и устраняет ограничения, присущие механической сборке с применением опорных элементов.

Повышение эффективности фокусировки излучения, являющееся наиболее важным следствием описанного выполнения линзы (линз) в составе предлагаемого устройства для получения изображения способствует как повышению разрешающей способности, так и обеспечению достаточной для регистрации изображения интенсивности излучения в зоне расположения средства для формирования изображения при уменьшении интенсивности излучения, воздействующего на объект.

Наиболее эффективно устройство для получения изображения, использующее линзу (линзы), в которой каналы, расположенные в ее поперечном сечении упорядоченно с соблюдением осевой симметрии, сгруппированы в одинаковые модули, которые тоже расположены в поперечном сечении линзы упорядоченно.

- 8 -

доченно с соблюдением осевой симметрии. Каждый из указанных модулей (модулей первого уровня) может быть, в свою очередь, образован модулями второго уровня, имеющими такие же форму, взаимное расположение и количество, как и модули первого уровня. Аналогично, модули второго уровня могут быть образованы более мелкими модулями третьего уровня, и т.д. Каждый из модулей самого высокого уровня может представлять собой миниатюрную линзу.

10 В одной из групп частных случаев выполнения предлагаемого устройства средство для формирования изображения расположено с возможностью транспортировки к нему излучения, прошедшего через объект.

15 В одном из этих случаев оптическая система содержит совокупность несимметричных линз, каждая из которых выполнена с возможностью уменьшения изображения, установленных между средством для размещения объекта и средством для формирования изображения таким образом, что каждая такая несимметричная линза транспортирует излучение  
20 ст элементов объекта, наиболее близких к ее входному торцу, а вся совокупность несимметричных линз позволяет получить мозаичное изображение объекта. Благодаря такому выполнению устройства доза лучевого воздействия на объект уменьшается пропорционально степени уменьшения размера изображения и фокусировки излучения, выходящего из несимметричных линз.  
25

В другом частном случае этой группы оптическая система содержит установленную между средством для размещения объекта и средством для формирования изображения расширяющуюся полулинзу для увеличения изображения, выполненную из конусообразных капилляров или поликапилляров. При этом источник излучения может быть установлен в фокусе расширяющейся полулинзы или на ее оптической оси со смещением из фокуса. В последнем случае обеспечивается фильтрация  
30 захватываемых частиц по их энергии. С этой же целью при использовании источника излучения конечных размеров с выходной апертурой в виде круга центральная часть последнего может быть экранирована.  
35

- 9 -

В рассмотренных выше случаях, характеризующихся наличием расширяющейся конической полулинзы для увеличения изображения, оптическая система может дополнительно содержать  
5 вторую расширяющуюся полулинзу из конусообразных капилляров или поликапилляров, имеющую меньшие размеры в поперечном сечении по сравнению с первой и установленную между источником излучения и средством для размещения объекта. Это позволяет получить изображение достаточных размеров  
10 при уменьшении дозы облучения объекта.

В описанных выше частных случаях объект облучается непосредственно расходящимся излучением, создаваемым источником. В следующем частном случае оптическая система  
15 содержит линзу или полулинзу для формирования квазипараллельного пучка частиц, расположенную между источником излучения и средством для размещения объекта.

Источник расходящегося излучения может быть выполнен с возможностью формирования двух характеристических  $K_{\alpha}$ -линий спектра. В этом случае оптическая система до-  
20 полнительно содержит установленное перед линзой или полулинзой для формирования квазипараллельного пучка или после нее вращающееся окно - фильтр. Последнее имеет чередующиеся секторы, каждый для подавления излучения одной из  $K_{\alpha}$ -линий спектра. Указанная линза или полулинза имеет  
25 продольную ось с изгибом для отсека жесткой части <sup>но</sup> излучения, либо прямолинейную продольную ось с установкой в этом случае перед объектом набора параллельных капилляров для отсека жесткой части излучения. В этом случае периодически формируются два изображения, соответствующие  
30 результатам взаимодействия объекта с частицами, имеющими энергию, соответствующую указанным  $K_{\alpha}$ -линиям, и создаются предпосылки для формирования итогового изображения путем вычитания одного из упомянутых двух изображений из другого, что позволяет повысить информативность  
35 этого изображения благодаря подавлению мешающего фона.

В другом частном случае, также характеризуемом использованием источника расходящегося излучения, выполненного с возможностью формирования двух характеристических

- 10 -

$K_{\alpha}$  -линий спектра, оптическая система содержит две линзы или полулинзы для формирования квазипараллельных пучков под углом друг к другу и два кристалла-монокроматора для выделения каждым из них одной из двух  $K_{\alpha}$  -линий спектра, установленных после указанных линз или полулинз с возможностью отражения монохроматизированных пучков в сторону средства для размещения объекта. Устройство содержит также второе средство для формирования изображения, при этом каждое средство для формирования изображения расположено за средством для размещения объекта с возможностью восприятия излучения, отраженного одним из кристаллов-монокроматоров, после прохождения его через объект. В устройстве, выполненном таким образом, тоже обеспечивается формирование двух изображений, соответствующих разным  $K_{\alpha}$  -линиям спектра излучения.

Еще в одном частном случае выполнения устройства оптическая система содержит между источником излучения и средством для размещения объекта линзу, выполненную с возможностью фокусирования излучения внутри объекта для получения изображения его элемента, на котором осуществлена фокусировка. При этом источник излучения, указанная линза и средство для формирования изображения установлены с возможностью совместного вращательного перемещения относительно средства для размещения объекта без изменения расположения их относительно друг друга и расположения точки фокусирования излучения, являющейся центром упомянутого вращательного перемещения. Такая конструкция позволяет концентрировать излучение в течение всего времени наблюдения на одном и том же элементе объекта, не подвергая облучению в течение всего этого времени одни и те же элементы, окружающие наблюдаемый. Благодаря указанной возможности эти элементы облучаются поочередно, то есть в течение лишь части времени наблюдения, и при меньшей концентрации излучения, чем наблюдаемый элемент.

В другой группе частных случаев выполнения предлагаемого устройства средство для формирования изображения

## - II -

установлено с возможностью транспортировки к нему вторичного излучения, рассеянного или возбужденного в веществе объекта при взаимодействии с ним излучения, создаваемого источником.

В одном из этих частных случаев источник излучения выполнен с возможностью формирования потока электронов или ионов для возбуждения в веществе объекта вторичного рентгеновского излучения, а оптическая система содержит полулинзу для транспортировки вторичного излучения к средству для формирования изображения, установленную с возможностью сканирования объекта ее фокусом.

В еще одном частном случае описываемой группы оптическая система содержит линзу для транспортировки излучения, создаваемого источником, к объекту и линзу для транспортировки вторичного излучения к средству для формирования изображения, имеющие общий фокус и установленные с возможностью их совместного перемещения для сканирования объекта общим фокусом.

В обоих описанных выше частных случаях между линзой для транспортировки вторичного излучения к средству для формирования изображения и этим средством может быть установлено средство для монохроматизации пучка. Последнее может быть выполнено, в частности, в виде кристалла с двойной кривизной.

Между линзой для транспортировки излучения к средству для размещения объекта и этим средством может быть расположена поляризационная мишень, установленная с возможностью изменения направления отраженного от нее пучка на  $90^\circ$  по отношению к падающему. Поляризационная мишень может быть выполнена в виде кристалла-монохроматора.

В устройстве в частном случае его выполнения, предусматривающем наличие имеющих общий фокус линз для транспортировки излучения к средству для размещения объекта и вторичного излучения от него, вторая из указанных линз может иметь каналы транспортировки, симметричные относительно оптической оси и фокус, расположенный в пространстве между ее выходным торцом и средством для формирования

- 12 -

изображения, причем в этом пространстве установлена с возможностью его сканирования микродиафрагма.

Такая конструкция позволяет использовать устройство для элементного анализа пробы, выступающей в качестве объекта. Оно может быть "настроен" на конкретное значение энергии частиц вторичного излучения расположением отверстия микродиафрагмы на оптической оси линзы, транспортирующей вторичное излучение, со смещением из фокуса, соответствующего энергии  $E$  частиц, на величину:

$$\Delta f = f \frac{\Delta E}{E} ,$$

где  $f$  - фокусное расстояние, соответствующее энергии  $E$  ;

$\Delta E$  - требуемая величина разрешения относительно энергии  $E$  .

Для подавления фона, создаваемого вторичным излучением с энергиями, не представляющими интереса, части поперечного сечения линзы, по которым преимущественно распространяются частицы с такими энергиями, могут быть закрыты со стороны выхода линзы круглым (если это центральная часть линзы) или кольцевым (для удаленных от оси слоев линзы) непрозрачным для излучения экраном.

В следующем частном случае, предусматривающем получение изображения с помощью рассеиваемого объектом комптоновского излучения, оптическая система содержит линзу, установленную между источником излучения и средством для размещения объекта и выполненную с возможностью формирования квазипараллельного пучка. Между средством для размещения объекта и средством для получения изображения в этом случае установлен коллиматор в виде системы прямых капилляров. При этом источник излучения, линза, коллиматор и средство для получения изображения расположены в одном полупространстве относительно средства для размещения объекта.

- 13 -

В другом частном случае для получения изображения объекта с помощью комптоновского излучения, рассеиваемого внутренними элементами объекта, оптическая система содержит установленную между источником излучения и средством для размещения объекта линзу, выполненную с возможностью фокусирования излучения внутри объекта, и коллиматор в виде системы конусообразных капилляров, сфокусированный в ту же точку, что и линза. Коллиматор установлен между средством для размещения объекта и средством для получения изображения, причем линза, коллиматор и средство для получения изображения расположены в одном полупространстве относительно средства для размещения объекта и установлены с возможностью совместного перемещения относительно него без изменения взаимного расположения, благодаря чему обеспечивается сканирование объекта общим фокусом линзы и коллиматора.

В обоих последних частных случаях расположение всех элементов устройства в одном полупространстве относительно средства для размещения объекта позволяет проводить исследование объекта, доступного лишь с одной стороны.

В следующем частном случае выполнения устройства используется как проходящее через объект, так и рассеиваемое его внутренними элементами излучение. Для этого устройство содержит источник плоскополяризованного излучения, а оптическая система включает в себя линзу, состоящую из квадратных моно- или поликапилляров с одинаково ориентированными стенками, установленную между источником излучения и средством для размещения объекта и выполненную с возможностью фокусирования излучения внутри объекта. Кроме того, оптическая система содержит линзу, состоящую из конусообразных капилляров, расположенную перед средством для получения изображения и имеющую общий фокус с линзой для фокусирования плоскополяризованного излучения. Оптическая ось линзы, состоящей из конусообразных капилляров, расположена перпендикулярно оптической оси линзы для фокусирования плоскополяризованного излучения в плоскости вектора напряженности магнитного поля этого излучения.

- 14 -

Возможно размещение еще одного средства для получения изображения и линзы, состоящей из конусообразных капилляров, симметрично описаным выше по другую сторону средства для размещения объекта. Устройство в рассматриваемом частном случае содержит также расположенную на продолжении оптической оси линзы для фокусирования плоскополяризованного излучения имеющую общий фокус с нею линзу для формирования квазипараллельного пучка, за которой установлено дополнительное средство для формирования изображения. При этом источник излучения, все указанные линзы и оба средства для формирования изображения установлены с возможностью совместного перемещения относительно средства для размещения объекта без изменения взаимного расположения, что позволяет, как и в предыдущем случае, сканировать объект. Использование как рассеянного, так и проходящего через объект излучения увеличивает объем получаемой информации об объекте и при прочих равных условиях позволяет уменьшить дозу его облучения.

20

Предлагаемая линза для преобразования потока нейтральных или заряженных частиц, являющаяся элементом оптической системы рассмотренного устройства во всех частных случаях его выполнения, как и известная линза по патенту США № 5192869, образована набором каналов с отражающими стенками для транспортировки излучения. В отличие от названной известной линзы, в поперечном сечении предлагаемой линзы все или часть указанных каналов расположены упорядоченно с соблюдением осевой симметрии. При этом возможны, в частности, виды симметрии, перечисленные выше при раскрытии изобретения, относящегося к устройству для получения изображения.

В частном случае все каналы линзы могут быть выполнены с прямолинейными продольными осями. При этом эти оси могут быть как параллельными, так и сходящимися (расходящимися). В последнем случае каналы имеют конусообразную форму. Интерференционные явления, имеющие место благодаря упорядоченному и симметричному расположению каналов в попе-

35



- 15 -

речном сечении линзы, позволяют сфокусировать выходное излучение линзы даже при параллельных каналах, которыми она образована.

- 5 В частных случаях выполнения линзы, когда образующие ее каналы, кроме центрального, изогнуты, их изгиб одинаков для каналов, равноудаленных от оси или плоскости (плоскостей) симметрии линзы в ее продольном сечении. Это позволяет выполнить условие упорядоченного и симметричного расположения каналов в любом поперечном сечении линзы и обеспечить фокусирование выходного излучения с использованием не только направляющих свойств каналов, образующих линзу, но и интерференционных явлений в пространстве, в котором распространяется ее выходное излучение (в силу принципа взаимности линза обладает аналогичными свойствами при работе "на прием", то есть по отношению к воздействию на ее выходной торец расходящегося излучению квазиточечного источника она может выступать в качестве средства формирования квазипараллельного пучка).
- 10 Поперечное сечение каналов изменяется по их длине соответственно изменению поперечного сечения линзы в целом, благодаря чему укладка каналов может быть сплошной, что исключает необходимость использования опорных элементов при сборке линзы.
- 15 При выполнении каналов линзы изогнутыми она может иметь форму раструба, полубочки, симметричной или несимметричной бочки и др.
- 20 В случаях, когда наружная боковая поверхность линзы имеет выпуклую форму (в частности, форму полубочки, бочки и т.п.), для обеспечения наиболее благоприятных условий интерференции выходного излучения (с точки зрения эффективности его фокусировки) каналы целесообразно располагать вокруг продольной оси линзы слоями с одинаковыми для всех слоев суммарными площадями поперечных сечений принадлежащих им каналов, причем радиусы каналов, имеющих изгиб (то есть всех, кроме центрального), уменьшаются по мере удаления от продольной оси линзы к ее периферии. Наибо-
- 25
- 30
- 35

- 16 -

лее целесообразна обратно пропорциональная зависимость радиуса изгиба от номера слоя, считая от центрального (расположенного по продольной оси линзы).

5 При этом наилучшие результаты достигаются при соблюдении одного из следующих количественных соотношений:

а) радиусы кривизны всех каналов, имеющих изгиб, не превышают

$$R_c = 2d/\theta_c^2,$$

10

где  $d$  - диаметр канала;

$\theta_c$  - критический угол отражения для частиц наименьшей энергии в спектре транспортируемого излучения;

15 б) радиусы кривизны всех изогнутых каналов имеют величину не менее

$$R_c = 2d/\theta_c^2,$$

20

где  $d$  - диаметр канала;

$\theta_c$  - критический угол отражения для частиц наибольшей энергии в спектре транспортируемого излучения;

25 в) радиусы кривизны всех каналов, имеющих изгиб, удовлетворяют условию "а" и обратно пропорциональны номеру слоя, которому они принадлежат (при отсчете номеров слоев от продольной оси линзы в направлении к ее периферии).

30 Кривизна каналов может быть также переменной по длине линзы, в частности, изменяющейся монотонно.

Каналы могут иметь винтообразную поверхность, что способствует управлению транспортировкой поляризованного излучения. Возможно выполнение линзы, имеющей такие каналы, как с одинаковым направлением закручивания всех каналов, так и с закручиванием различных групп каналов в противоположных направлениях.

Сборка линзы может быть облегчена, а точность ее осуществления повышена при выполнении линзы из одинаковых модулей, расположенных в поперечном сечении упорядоченно

- 17 -

и с соблюдением осевой (в частности, относительно взаимно перпендикулярных осей поперечного сечения) симметрии. При этом возможно выполнение этих модулей (модулей первого уровня) из более мелких модулей (модулей второго уровня), последних - из еще более мелких (модулей третьего уровня), и т.д. Каждый отдельный модуль данного уровня образован модулями следующего уровня в количестве, равном количеству модулей первого уровня, имеющими такую же форму и такое же взаимное расположение, как и модули первого уровня.

Во всех описанных случаях выполнения линзы ее каналы могут быть образованы, в частности, внутренними стенками стеклянных моно- или поликапилляров.

Во всех частных случаях выполнения линзы на внутренние стенки ее каналов могут быть нанесены покрытия, имеющие, по меньшей мере, один слой и образующие вместе с самими стенками многослойную структуру с различными электромагнитными свойствами соседних слоев. Кроме того, поверхности раздела, по меньшей мере, двух соседних сред могут находиться в ином фазовом состоянии по отношению к их подложке. Это позволяет при каналировании частиц использовать не только явление многократного отражения, но и диффузное и потенциальное рассеяние, что способствует увеличению угла захвата излучения, улучшает каналирование заряженных частиц (при выполнении покрытия проводящим и сверхпроводящим), каналирование нейтральных частиц (при нанесении покрытия в виде магнитного слоя), и т.д.

На внутренние стенки каналов могут быть нанесены также дифракционные структуры с одним или несколькими периодами, что позволяет с помощью линзы монохроматизировать поступающее на ее вход излучение, разделять его на потоки, соответствующие различным спектральным линиям (при нанесении покрытий в виде дифракционных структур с несколькими периодами), и др.

Возможно выполнение линзы с использованием однократного отражения в каждом из ее каналов для преобразования расходящегося излучения в квазипараллельное или для фоку-

- 18 -

- сирования квазипараллельного излучения. В этом случае каналы имеют торцы, расположенные на двух concentрических сферических поверхностях. Оси каналов ориентированы радиально. Их длина и поперечные размеры выбраны из условия однократного отражения с возможностью захвата излучения в пределах учетверенного критического угла отражения при размещении источника излучения на оптической оси линзы на расстоянии от внутренней сферической поверхности, равном половине ее радиуса.

- Линза в различных частных случаях ее выполнения может представлять собой набор миниатюрных линз, в частности, уложенных плотно, в совокупности имеющих поперечное сечение, изменяющееся по длине линзы в соответствии с ее продольным профилем. В частности, при рассмотренном выше выполнении линзы из модулей первого, второго и более высоких уровней каждый модуль самого высокого уровня может представлять собой миниатюрную линзу. При этом возможно выполнение разных миниатюрных линз, например, принадлежащих разным слоям, охватывающим продольную ось линзы, с разными углами захвата излучения и разными фокусными расстояниями.

- Линза может содержать, наряду с упорядоченно расположенными в ее поперечном сечении каналами, также хаотично расположенные каналы, причем количество последних может и превышать количество упорядоченно расположенных.

#### Краткое описание фигур чертежей

- Предлагаемые изобретения иллюстрируются чертежами, на которых изображены:
- на фиг.1 - получение изображения объекта, облучаемого квазипараллельным пучком частиц, с использованием уменьшающей полулинзы;
  - на фиг.2 - получение изображения объекта, облучаемого расходящимся пучком частиц с помощью уменьшающей несимметричной линзы;
  - на фиг.3 - получение увеличенного изображения внут-

- 19 -

ренного элемента объекта с использованием проходящего через объект излучения;

5 на фиг.4 - получение мозаичного изображения объекта с использованием источника расходящегося излучения и системы уменьшающих несимметричных линз;

на фиг.5 - получение увеличенного изображения объекта с использованием источника расходящегося излучения и конической полулинзы;

10 на фиг.6 - получение изображения объекта с использованием источника расходящегося излучения, конической полулинзы для фильтрации излучения и увеличивающей конической полулинзы;

на фиг.7,8 - частные случаи получения чередующихся во  
15 времени изображений объекта, соответствующих двум  $K\alpha$ -линиям спектра, различающиеся методами отсечения жесткой части спектра;

на фиг.9 - одновременное получение изображений объекта, соответствующих двум  $K\alpha$ -линиям спектра;

20 на фиг.10 - получение изображения внутреннего элемента объекта, на котором сфокусировано излучение источника, с исключением постоянного воздействия излучения на одни и те же окружающие указанный элемент ткани;

на фиг.11 - получение изображения элемента объекта  
25 с использованием рассеянного объектом излучения;

на фиг.12 - получение изображения объекта с фокусированием линзы, передающей изображение, на одном из элементов объекта и облучением последнего потоком частиц, возбуждающих рентгеновское излучение;

30 на фиг.13 - то же, что на фиг.12, с монохроматизацией вторичного излучения;

на фиг.14 - использование конической полулинзы, сфокусированной на одном из элементов объекта, для транспортировки вторичного излучения, и несимметрично обрезанного кристалла-монохроматора с двойной кривизной;  
35

на фиг.15 - получение изображения объекта с использованием обратнорассеянного комптоновского излучения;

на фиг.16 - то же, что на фиг.15, с фокусированием

- 20 -

излучения источника на внутреннем элементе объекта;

5 на фиг.17 - одновременное получение изображений объекта с использованием проходящего через него и рассеянного им излучения при воздействии на объект плоско-поляризованным излучением;

10 на фиг.18 - упорядоченная структура каналов в поперечном сечении линзы, обладающая зеркальной симметрией относительно двух осей, центральной и вращательной сим-

на фиг.19 - симметричная в поперечном сечении линза, выполненная из планарных структур;

на фиг.20 - структура поперечного сечения линзы, обладающая только вращательной симметрией;

15 на фиг.21 - использование в качестве линзы, фокусирующей расходящееся излучение, набора параллельных прямых капилляров, и распределение интенсивности выходного излучения в фокальной плоскости;

20 на фиг.22 - симметричная структура поперечного сечения линзы, выполненной из модулей прямоугольной формы, и выполнение модуля этой структуры из более мелких модулей второго уровня;

на фиг.23 - выполнение линзы в виде пучка изогнутых капилляров;

25 на фиг.24 - выполнение поликапилляра с постоянным по длине поперечным сечением;

на фиг.25 - выполнение линзы в виде набора (ансамбля) миниатюрных линз;

30 на фиг.26 - конусообразная линза, выполненная с использованием миниатюрных линз;

на фиг.27 - линза (полулинза) в виде полубочки для преобразования расходящегося излучения в квазипараллельное (или для фокусирования квазипараллельного излучения);

35 на фиг.28 - симметричная бочкообразная линза для фокусирования расходящегося излучения;

на фиг.29,30 - несимметричные линзы для фокусирования расходящегося излучения, соответственно, с постоянным и непостоянным радиусом изгиба каналов в продольном сечении линзы;

- 21 -

на фиг.31 - линза в виде раструба ( с вогнутой боковой поверхностью);

5 на фиг.32 - выполнение линзы, имеющей коаксиальные каналы или слои каналов, обладающие симметрией относительно продольной оси;

10 на фиг.33 - линза для преобразования расходящегося излучения в квазипараллельное (или для фокусирования квазипараллельного излучения), выполненная в виде набора радиально ориентированных каналов, с возможностью однократного отражения преобразуемого излучения.

#### Лучшие варианты осуществления изобретения

15 Как отмечалось при раскрытии предлагаемого изобретения, относящегося к устройству для получения изображения объекта, возможно выполнение этого устройства как для получения теневого изображения объекта в проходящем через него излучении, так и для получения изображения в виде  
20 распределения интенсивности рассеянного объектом или возбужденного в его веществе излучения.

При рассмотрении работы предлагаемого устройства, когда это не приводит к неточному пониманию, для краткости говорится об "объекте", а не "средстве для размещения  
25 объекта" (поскольку при описании работы устройства существенно взаимодействие излучения с самим объектом, а не со средством для его размещения, хотя именно оно, а не объект, является узлом устройства).

Выполнение устройства в первом из названных выше двух  
30 случаев иллюстрируется фиг.1, на которой объект 2 облучается квазипараллельным потоком частиц (средства формирования этого потока, например, синхрон<sup>тра</sup>ный источник, на данном чертеже не показаны). Прошедшее через объект 2 излучение транспортируется к средству 4 для формирования изображения  
35 полулинзой 3, уменьшающей изображение. Это, как отмечалось, позволяет без снижения интенсивности излучения, воздействующего на средство 4, уменьшить дозу облучения объекта, что становится возможным благодаря концентрации излучения,

- 22 -

осуществляемой при уменьшении размера изображения полу-  
линзой 3. В качестве средства 4 может выступать любой при-  
емник (детектор) излучения, позволяющий, в конечном сче-  
те, визуализировать изображение (кассета с фотопленкой,  
усилитель рентгеновского изображения, и др., см., в час-  
тности: Физика визуализации изображений в медицине, под  
ред. С.Уэбба, М., "Мир", 1991, т.1).

При соблюдении условия

$$\theta_1 \leq \left( d_1/d_0 \right) \theta_2, \quad (1)$$

где  $\theta_1$  - расходимость квазипараллельного пучка;

$\theta_2$  - расходимость выходного излучения полу-  
линзы 3;

$d_0, d_1$  - соответственно, входной и выходной диамет-  
ры полулинзы 3,

обеспечиваются наименьшие потери транспортируемого излу-  
чения. Это позволяет снизить мощность источника излучения  
и дозу облучения объекта.

Если объект 2 облучается источником 1 конечных раз-  
меров, создающим расходящееся излучение (фиг.2), которое  
после прохождения через объект 2 транспортируется к сред-  
ству 4 для формирования изображения с помощью несимметрич-  
ной линзы 3, уменьшающей, как и в предыдущем случае, раз-  
мер изображения, то следует соблюдать условие:

$$b/f \leq \left( d_1/d_0 \right) \theta_2. \quad (2)$$

где  $b$  - диаметр выходной апертуры источника 1  
излучения;

$f$  - расстояние от источника 1 до объекта 2;

$d_0, d_1$  - соответственно, входной и выходной диа-  
метры несимметричной линзы 3;

$\theta_2$  - расходимость выходного излучения несиммет-  
ричной линзы 3, падающего на средство 4  
для формирования изображения.



- 23 -

Для получения увеличенного изображения внутреннего элемента 6 объекта 2 (фиг.3) на нем фокусируют излучение источника I с помощью линзы 5. Средство 4 для формиро-  
5 ния изображения при этом размещают на расстоянии от объекта 2, определяемом желаемой степенью увеличения.

Получение информации об объекте может осуществляться (см. фиг.4) в расходящихся пучках, при этом за объектом 2 находится система сужающихся полулинз 3, за нею - средство  
10 4 для формирования изображения объекта в виде мозаичной картины, создаваемой системой полулинз 3, а источник I находится в фокусе этой системы. Для каждой из полулинз 3 должно соблюдаться приведенное выше при рассмотрении предлагаемого устройства соотношение (2). Такой вариант выпол-  
15 нения устройства может быть использован, в частности, в маммографии.

В одном из вариантов передача изображения объекта 2 осуществляется с помощью расширяющейся линзы 7, в фо-  
кусе которой находится источник I (фиг.5). В этом варианте  
20 элементы линзы 7 выполнены из конусообразных каналов, расширяющихся к средству 4 для формирования изображения. Пространственное разрешение такой оптической системы близко к диаметру канала транспортировки на входе линзы.

Фильтрацию излучения до объекта можно проводить с  
25 помощью второй конусообразной линзы 7', расположенной перед объектом 2, а подавление вторичного рассеянного излучения, возникающего в объекте 2 - с помощью линзы 7 (фиг.6), являющейся улучшенным вариантом медицинского ра-  
стра.

30 Ряд вариантов предлагаемого устройства, предназначенных для использования, преимущественно, в ангиографии, показан на фиг.7-9.

На фиг.7 от источника идут фотоны с двумя  $K_{\alpha}$  -лини-  
ями (в ангиографии это выше и ниже линии поглощения йо-  
35 да, то есть вблизи 33 кэВ). Брассажее окно 6 заполнено фильтром, который в один момент поглощает одну линию, но пропускает другую, а в другой момент действует наоборот. Это окно может быть помещено и после линзы. Линза 10 де-

дает пучок квазипараллельным и одновременно благодаря наличию изгиба обрезает жесткую часть излучения, которая идет с рентгеновской трубки.

на фиг. 8 показано устройство, в котором для обрезания жесткой части излучения используется набор II из параллельных капилляров, расположенный после полулинзы 9, формирующей квазипараллельный пучок.

В следующем варианте (фиг. 9) для передачи изображения используются две полулинзы 9, 9', два кристалла-монократора I2, I2' и два средства для формирования изображения. При этом для передачи и воспроизведения одной  $K_{\alpha}$ -линии используются кристалл I2 и средство 4, для другой  $K_{\alpha}$ -линии используются кристалл I2' и средство 4'.

Чтобы излучение от источника I напрямую не попадало на объект 2, используется защита в виде экранов I3, I3'.

Полулинзы 9, 9' формируют квазипараллельные пучки, а кристаллы I2, I2' обеспечивают получение монохроматизированного излучения, соответствующего одной из указанных  $K_{\alpha}$ -линий.

Во всех трех вариантах (фиг. 7-9) перед каждым средством для формирования изображения может быть помещена еще одна дополнительная линза, которая уменьшает размер изображения. Она служит также для уменьшения дозы облучения пациента. При этом, чтобы добиться эффективного уменьшения дозы облучения, расходимость  $\theta_1$  пучка до пациента должна удовлетворять условию:  $\theta_1 = \theta_c (d_1/d_0)^2$ , где  $\theta_c$  - критический угол отражения при энергии  $E = 33 \text{ кэВ}$ , фактор  $(d_1/d_0)^2$  - отношение площадей выходного и входного сечений линзы.

Получаемые два рентгеновских изображения (в устройстве по фиг. 7, 8 - периодически сменяющие друг друга, а в устройстве по фиг. 9 - существующие одновременно) совместно обрабатываются с использованием метода субтракции, в результате чего получается изображение с подавленным фоном, облегчающее различение представляющих интерес элементов объекта, например кровеносных сосудов.

- 25 -

В одном из вариантов использования предлагаемого устройства для формирования изображения с помощью проходящего через объект излучения последнее фокусируется на представляющем интерес внутреннем элементе объекта 2, например опухоли (фиг. IС) с помощью линзы 3. Средство 4 для формирования изображения находится на оптической оси линзы 3 по другую сторону объекта 2. Источник 1, линза 3 и средство 4 установлены неподвижно друг относительно друга, но с возможностью вращения образуемой ими системы вокруг центра, в качестве которого выступает точка 6 фокусирования излучения. При этом источник 1 и средство 4 перемещаются по сферическим поверхностям соответствующих радиусов (на фиг. IО штриховыми линиями показана такая поверхность I4 для источника 1). Благодаря такому перемещению излучение все время концентрируется, например, на опухоли 3, изображение которой требуется получить, а окружающие ее ткани облучаются лишь в течение части сеанса наблюдения.

Выполнение предлагаемого устройства в случае, когда для формирования изображения используется вторичное излучение, рассеянное объектом или возбужденное в нем излучением источника, иллюстрируется фиг. II. На этой фигуре линза 3 фокусирует излучение источника 1 на одном из элементов объекта 2, а линза I3, сфокусированная со стороны входа на том же элементе, транспортирует вторичное излучение к средству 4 для формирования изображения. Перемещением системы: источник 1, линзы 3, I3 (без изменения взаимного расположения названных элементов) относительно объекта 2 или перемещением объекта 2 относительно указанной системы достигается сканирование объекта общим фокусом линз 3 и I3, что позволяет получить с помощью средства 4 для формирования изображения картину распределения свойств объекта, влияющих на параметры вторичного излучения. Решая проблему локальности, такая геометрия вместе с тем позволяет подавить фон от рассеянного излучения и увеличить чувствительность метода. Данный частный случай

- 26 -

выполнения предлагаемого устройства целесообразно применять для точного определения места расположения дефектов, локализации тяжелых элементов и т.п.

- 5       Выполнение предлагаемого устройства для использования его при формировании изображения <sup>объекта</sup> с помощью возбужденного в нем излучения иллюстрируется фиг. I2-I4.

10       Возбуждение вторичного рентгеновского излучения в объекте 2 (в качестве которого может выступать, в частности, проба (образец) исследуемого материала, вещества) можно осуществлять с помощью электронного, ионного пучка I6, собирать это излучение на средстве 4 для формирования изображения с помощью полулинзы I7 (фиг. I2).

- 15       В другом варианте осуществления устройства (фиг. I3) собранное полулинзой I7 излучение направляется на монохроматор I2, а затем - на средство 4 для формирования изображения.

20       Монохроматизацию излучения можно проводить эффективно с помощью конусообразной полулинзы I8 и кристалла-монохроматора I9 с двойным изгибом (фиг. I4).

Еще два частных случая выполнения предлагаемого устройства предусматривают получение изображения с использованием обратно-рассеянного комптоновского излучения.

- 25       (фиг. I5)  
В первом из них квазипараллельный пучок, сформированный полулинзой 9 (или полученный непосредственно от синхротронного источника), направляется на объект 2. Обратно-рассеянное излучение попадает на средство 4 для формирования изображения через коллиматор 20, представляющий собой систему прямых капилляров.

30       Во втором случае (фиг. I6) излучение источника I фокусируется линзой 5 на объекте 2, в частности на его внутреннем элементе 6. В ту же точку сфокусирована линза 2I, состоящая из конусообразных капилляров, за которой находится средство 4 для формирования изображения. В зависимости от ситуации, объект может сканироваться пучком (в этом случае система: источник I, линза 5, линза 2I, средство 4 перемещается относительно объекта как единое це-

- 27 -

лое) или, наоборот, объект может перемещаться относительно элементов устройства.

5        В обоих случаях все элементы устройства расположены в одном полупространстве относительно объекта. Средство для размещения объекта может быть выполнено в виде приспособления, обеспечивающего контакт с объектом, например, в виде шупа, перемещаемого относительно объекта вместе с остальными элементами устройства.

10        Для анализа разнообразных объектов, в том числе в медицинской диагностике, эффективно можно использовать поляризованное излучение. Плоскополяризованное квази-  
15        параллельное излучение, например, от синхротронного источника фокусируется на внутреннем элементе 6 объекта 2 линзой 22, состоящей из квадратных моно- или поликапилляров с одинаково ориентированными стенками всех капилляров (фиг.17). Вторая линза 24 сопряжена с первой, и за ней находится средство 4' для формирования изображения.

20        Еще одно средство 4 для формирования изображения находится за конусообразной линзой 23, оптическая ось которой перпендикулярна общей оптической оси линз 22 и 24 и параллельна вектору магнитного поля плоскополяризованного излучения. Конусообразная линза 23 сфокусирована в ту же внутреннюю точку объекта 2, что и линзы 22, 24. В  
25        таком устройстве получают два изображения - сформированные проходящим через объект излучением (на средстве 4') и рассеянным излучением (на средстве 4). Симметрично линзе 23 и средству 4 может быть расположена другая пара  
30        таких же элементов, что дополнительно повышает информативность устройства.

35        Следует специально подчеркнуть, что возможность сканирования фокусом линзы внутри объекта открывает принципиально новые возможности в диагностике объектов, в том числе в медицинской диагностике. По сути, появляется новый вид микроскопии, когда фокус источника располагается как бы внутри объекта. При этом существенно уменьшается геометрическая нерезкость от источника. Эта нерезкость

- 28 -

выражается обычной формулой:

$$U_r = b d_s / l_f,$$

- 5 где  $b$  - размер источника,  $l_f$  - расстояние от объекта до фокуса трубки и  $d_s$  - расстояние от объекта до детектора. Когда источник стоит вне объекта,  $d_s$  и  $l_f$  сравнимы, а значение  $U_r$  близко к  $b$ , то есть разрешение близко к размеру источника; в случае если фокус линзы
- 10 счень близко расположен к дефекту в объекте,  $d_s$  может быть очень мало и, следовательно, разрешение увеличивается. При этом появляется принципиально новая возможность - резкое увеличение пространственного размера исследуемого дефекта.
- 15 Как указывалось выше, линзы с осевой симметрией обладают интерференционными свойствами, то есть наличием центрального максимума, вторичных максимумов и минимумов. При этом ширина центрального максимума близка к диаметру канала транспортировки излучения, например, диаметру капи-
- 20 лляра. Полная интенсивность в центральном максимуме пропорциональна  $N_k^2$ , где  $N_k$  - число капилляров в линзе. Благодаря этому такие линзы можно эффективно использовать для получения информации об объекте, содержащем дефекты.
- 25 Если, например, дефект затеняет  $N_q$  капилляров, то интенсивность в центральном максимуме становится примерно пропорциональной  $(N_k - N_q)^2$ . Эта квадратичная зависимость дает возможность наблюдать весьма эффективно малые дефекты в объекте. Например, сканируя разные места в объекте и вычитая интенсивности в центральных максиму-
- 30 мах друг из друга (так называемый метод субтракции), легко определить наличие дефекта и место его нахождения.
- Высокого энергетического разрешения можно добиться с помощью устройства, в котором после средства для размещения объекта (пробы) установлена линза, обладающая
- 35 осевой симметрией. Такая линза обладает способностью разрешения энергии на очень высоком уровне. Например, если на оптической оси линзы необходимо получить разрешение энергии до некоторого уровня  $\Delta E$  вблизи некоторой

- 29 -

энергии  $E$ , то этому разрешению по энергии соответствует пространственное разрешение  $\Delta f = f \frac{\Delta E}{E}$ , где  $f$  - фокусное расстояние линзы для энергии  $E$ .

5 В варианте устройства, предназначенном для научных и аналитических приборов, пучки рентгеновского излучения используются для получения информации о составе элементов образца. Во флуоресцентном анализе первичный рентгеновский пучок возбуждает характеристические линии, и по анализу этих линий восстанавливается элементный состав образца. При этом, как правило, используются два метода: очень точный дисперсионный анализ по длинам волн, так как применяется дифракция по Бреггу, или энергетический дисперсионный анализ, в котором измеряется энергетический спектр вторичных частиц.

15 В обоих случаях использование линз, присущее предлагаемому устройству, дает очевидные преимущества. Например, в дифракционных измерениях, когда в качестве начального пучка используется рентгеновское излучение от рентгеновской трубки, происходит потеря интенсивности в  $5-7$  порядков. Это связано с тем, что эффективно могут дифрагировать только те фотоны, которые удовлетворяют условию Брегга, то есть фотоны должны иметь расходимость от  $10^{-3}$  до  $10^{-4}$  радиан, в зависимости от типа кристалла.

25 Томографы получили очень широкое распространение в современной диагностике. Есть ряд недостатков, присущих им. Это высокая доза облучения, не всегда достаточно хорошее пространственное разрешение. Причем оба эти момента взаимосвязаны. Например, если попытаться улучшить разрешение в два раза, то дозу облучения приходится увеличивать в  $10$  раз. Поэтому в современных томографах обычным является разрешение от одного до нескольких миллиметров.

30 В томографах обычно используется непрерывный спектр тормозного излучения. При этом возникает так называемый эффект "жесткости", когда более жесткие фотоны поглощаются в объекте меньше, чем более мягкие. Поэтому часто возникают трудности при реконструкции, особенно на границе кость - мышечная ткань.

- 30 -

Указанные трудности разрешаются на основе предлагаемого устройства. При этом схема томографа может быть такой же, как в томографах второго поколения, то есть источник стоит перед пациентом, за которым находятся уменьшающая изображение линза и детектор (чувствительный элемент средства для формирования изображения). Пациент неподвижен, а источник и линза с детектором жестко связаны и сканируют тело пациента.

10 Для того, чтобы избавиться от эффекта "жесткости", излучение от источника можно монохроматизировать различными методами. Например, после источника можно поставить полулинзу, а за ней параллельную сборку капилляров, причем угол входа излучения из полулинзы в эту сборку можно  
15 регулировать, регулируя тем самым спектр излучения.

В современных томографах получают распределение плотности с помощью регистрации прошедшего от источника до детектора излучения. При этом, чтобы получить информацию с распределении плотности в том или ином срезе, приходится делать очень большое количество облучений (обычно  
20 более ста) этого среза под разными углами. При этом доза обычно велика: около 1 Рентгена и больше. Ситуацию можно улучшить, если регистрировать одновременно комптоновское рассеяние в исследуемом месте объекта наряду с поглощением излучения.

25 для этого фокус рентгеновской линзы направляется на исследуемое место. На этот же фокус ориентируется другая система линз (или коллиматоров), жестко связанная с первой рентгеновской линзой. Такая система способна сканировать  
30 объект в трех направлениях. Эта вторая система линз связана с детекторами, которые могут регистрировать комптоновское рассеяние. Другая система детекторов располагается после объекта напротив первой линзы, она регистрирует поглощение. Такая система томографии, по оценкам, может  
35 при меньшей дозе дать лучшее разрешение. Схема устройства, реализующего описанный метод, аналогична изображенной на фиг. 17.



- 31 -

При использовании предлагаемого устройства в медицинской диагностике может быть достигнуто резкое уменьшение дозы облучения, а также высокое пространственное разрешение. Уменьшение дозы облучения может быть получено за счет фильтрации квазипараллельного излучения. Кроме того, уменьшение дозы облучения может быть получено за счет возможности передачи изображения с уменьшением размеров рассматриваемого объекта.

Рентгеновские экраны, экраны с усилением, видиконы и т.д. имеют порог для получения изображения. В зависимости от типа экрана, энергии фотонов и т.д. этот порог колеблется. В дальнейшем для оценок примем, что этот порог приблизительно равен  $n = 10^8$  фотон/см<sup>2</sup>.

Объект облучают параллельным пучком фотонов. За объектом находится линза (или каскад линз), которая фокусирует излучение. За линзой расположен экран. В предлагаемом устройстве входной диаметр каскада линз может быть больше выходного в 100 раз.

В этом случае, чтобы происходила эффективная фокусировка, расходимость начального пучка,  $\delta\theta$  должна быть:

$\delta\theta/\theta_c = d_1/d_0$ , то есть если  $d_0/d_1 = 100$ , то очевидно,  $\delta\theta/\theta_c$  должно быть порядка  $10^{-2}$ ; при  $E = 20$  кэВ  $\theta_c = 2 \cdot 10^{-3}$  радиан, то есть при стократном

уменьшении размеров  $\delta\theta = 2 \cdot 10^{-5}$  радиан. В этом случае выходная площадь одиночного капилляра уменьшается в  $10^4$  раз. При такой фокусировке только половина фотонов, вошедших в передний торец линзы после объекта, достигает экрана.

В данном случае для порога получения изображения необходимо количество фотонов уменьшается в  $1/2 \cdot 10^4$  раз. Это означает, что на объект может падать в 5000 раз меньше фотонов в случае, когда после него стоит линза. Необходимо одновременно иметь хорошее пространственное разрешение. Величина разрешения в 2-3 раза больше, чем входной диаметр капилляра, то есть для получения разрешения в 100 микрон диаметр капилляра необходимо сделать порядка 30 микрон. В этом случае, при стократном уменьшении размеров, выходной диаметр капилляра должен быть порядка 0,3 микро-

- на. При этом угол схождения капилляров (угол конусности) имеет порядок  $2 \cdot 10^{-5}$  радиан, а длина линзы будет порядка 75 см при условии, что она состоит из множества капилляров или поликапилляров. Имеются два ограничения на минимальный размер капилляра. Первое ограничение связано с дифракцией и не зависит от энергии фотонов, при этом предел равен  $c/\omega_p = 100$  Ангстрем ( $c$  - скорость света;  $\omega_p$  - плазменная частота). Этот предел настолько мал, что в данном случае не играет роли. Второе ограничение связано с физическим процессом получения изображения. На экране средства для формирования изображения, то есть в детекторе энергия фотонов трансформируется в энергию электронов, которые при диссипации образуют световые кванты, дающие изображение объекта.

Максимальное разрешение при этом связано с пробегом электронов и составляет около 10 микрон.

- Обозначим через  $S_1$  минимальную площадь капилляров на выходном конце перед экраном, обусловленную конечным пробегом электронов; при этом  $S_1 = (10 \text{ мкм})^2 = 10^{-6} \text{ см}^2$ . Если входная площадь капилляров равна  $S_0$ , уменьшение дозы облучения  $J$  будет равно:  $J = a S_0 / S_1$ , где  $a$  - потери излучения при транспортировке через сужающийся капилляр, равные 1/2. При  $S_0 = 10^{-2} \text{ см}^2$  имеем:

$J = 5000.$

Минимальное разрешение  $\ell$  равно величине входного диаметра капилляра, умноженной на коэффициент порядка 3, то есть в данном случае  $\ell \approx 0,3 \text{ мм}$ .

- Таким образом, по мере увеличения  $S_0$   $J$  увеличивается, но при этом  $\ell$  уменьшается обратно пропорционально росту  $S_0$ .

- В случае, когда необходимо получить изображение малых размеров,  $J$  падает, так как необходимо использовать капилляры с малыми входными диаметрами. Например, когда необходимо получить разрешение изображения спухси с размером около 1 мм, необходимо использовать капилляры с диаметром около 0,3 мм, при этом  $J = 500$ . Соответственно для спухси с размером 0,3 мм  $J = 50$ .

Основной особенностью конструкции, присущей, по

- 33 -

меньшей мере, одной из линз оптической системы предлагаемого устройства (а в случаях, когда оптическая система имеет только одну линзу - то этой единственной линзе), является, как было отмечено при раскрытии изобретений, наличие каналов транспортировки излучения, расположенных в ее поперечном сечении упорядоченно с соблюдением осевой симметрии. Такая особенность присуща конструкции предлагаемой линзы и в случае использования ее самостоятельно или в составе других устройств, где требуется преобразование потоков нейтральных или заряженных частиц.

На фиг.18 показано упорядоченное расположение каналов линзы, при котором имеет место зеркальная симметрия относительно осей X, Y поперечного сечения. В данном случае одновременно имеет место и центральная симметрия относительно продольной оси линзы, проходящей перпендикулярно плоскости чертежа через точку пересечения осей X,Y: любому рассматриваемому элементу соответствует такой же элемент, находящийся на прямой, проходящей через этот элемент и указанную точку по другую сторону от этой точки (центра симметрии) на таком же расстоянии от нее, как и рассматриваемый элемент.

Фиг.18 вместе с тем иллюстрирует и вращательную симметрию относительно той же оси, что и центральная симметрия: при повороте изображенной на чертеже фигуры вокруг названной оси на  $180^\circ$  она совпадает с самой собой.

Фиг.19 иллюстрирует наличие зеркальной симметрии в конструкции, содержащей каналы с незамкнутыми в поперечном сечении поверхностями стенок, образованные изогнутыми планарными структурами.

На фиг.20 показано упорядоченное расположение в поперечном сечении линзы квадратных каналов с соблюдением вращательной симметрии: при повороте изображенной на этом чертеже фигуры на угол  $2\pi/5$  или кратный ему вокруг продольной оси линзы, проходящей через точку O перпендикулярно плоскости чертежа, она совмещается с самой собой, в частности каждая группа 30 каналов совмещается с идентичной ей группой.

- 34 -

Как отмечалось при раскрытии изобретений, наличие в линзе каналов, расположенных в ее поперечном сечении упорядоченно с соблюдением осевой симметрии, создает

5 предпосылки для возникновения интерференционных явлений для частиц, выходящих из линзы. Это позволяет эффективно фокусировать излучение даже в простейшем варианте реализации линзы - в виде сборки 26 (фиг.2I) прямых параллельных моно- или поликапилляров ("капиллярных столбиков").

10 Штриховыми линиями на фиг.2I и ряде описываемых ниже фигур показано наличие покрытий на стенках каналов транспортировки излучения, роль которых будет рассмотрена отдельно. В зависимости от длины сборки 26, может иметь место одно-, двух- или многократное отражение в каждом

15 канале 27. При этом в фокальной плоскости 28, находящейся на таком же расстоянии от выходного торца линзы, что и источник I - от входного торца, возникает интерференционная картина, которой соответствует изображенный на фиг.2I график 29 зависимости интенсивности  $I$  излучения от координаты  $X$ , имеющий ширину главного максимума, примерно равную диаметру отдельного канала.

Такой же порядок имеет размер фокусного пятна и в других вариантах конструкции линзы с расположением каналов в ее поперечном сечении упорядоченно с соблюдением

25 осевой симметрии. Для сравнения отметим, что в отсутствие интерференционных явлений размер фокусного пятна имеет порядок

$$l_f = d + 2 \theta_c f,$$

30 где  $d$  - поперечный размер отдельного канала;  
 $f$  - фокусное расстояние;  
 $\theta_c$  - критический угол внешнего отражения.

Например, при энергии частиц  $E = 5$  кэВ угол  $\theta_c$  имеет порядок  $3 \cdot 10^{-3}$  радиан. При типичном значении:  $f = 10$  см

35 имеем:  $l_f = d + 0,6$  мм, то есть даже при выполнении каналов из очень тонких капилляров недостижима степень фокусировки лучше 0,6 мм. Создание в предлагаемой линзе

- 35 -

условий для интерференции позволяет преодолеть это ограничение, в результате чего оказывается, что степень фокусировки определяется только диаметром каналов.

5       Возможности, обеспечиваемые благодаря интерференции, сочетаются с технологическими достоинствами в конструкции линзы, в которой упорядоченно расположенные каналы для транспортировки излучения представляют собой совокупность одинаковых расположенных упорядоченно и с соблюдением осевой симметрии модулей 30 (фиг.22, фиг.20).

10       Указанные модули, в свою очередь, могут быть выполнены из более мелких модулей, являющихся по отношению к предыдущим (модулям первого уровня) модулями второго уровня, и т.д.

15       На фиг.22 показаны более мелкие модули 31, из которых выполнен каждый из модулей 30, в частности модуль  $aa'b'b$ .

20       В зависимости от количества уровней модулей, использованных в конструкции линзы, говорят о симметрии первого, второго и т.д. порядка. Модули каждого следующего уровня, образующие модуль предыдущего уровня, имеют в каждом модуле предыдущего уровня такие же количество, форму и взаимное расположение, как и модули первого уровня. Модули самого высокого уровня образованы непосредственно каналами для транспортировки излучения.

25       Наиболее перспективно использовать линзу в виде пучка изогнутых капилляров 32 (фиг.23). При этом целесообразно использовать поликапилляр - миниатюрную оптическую систему (фиг.24). В этом случае линза представляет собой набор миниатюрных оптических систем, что позволяет многократно усилить ее эффект.

30       Бажным направлением в предлагаемой оптике может быть оптическая система, представляющая собой ансамбль (комплект) из миниатюрных линз, полулинз и т.д. Такие ансамбли из миниатюрных полулинз 33 представлены фиг.25,26.

35       Миниатюрная линза представляет собой, как правило, один поликапилляр бочкообразной формы, максимальный диаметр которого обычно не превышает 0,1-1 мм. Поликапилляр

- 36 -

наполнен несколькими тысячами или несколькими десятками тысяч полых каналов, сечение которых меняется по длине таким образом, что все каналы могут быть сориентированы в одну точку.

Миниатюрные линзы укладываются в единый набор из сотен или тысяч миниатюрных линз или полулинз, не требуя использования опорных элементов для формирования и сохранения продольного профиля оптической системы. В случае же использования опорных элементов они выполняют свою функцию по отношению к миниатюрным линзам, а не к отдельным каналам - капиллярам. При этом многократно усиливается эффект оптической системы по сравнению со случаем, когда оптическая система состоит просто из капилляров или поликапилляров.

Набор из миниатюрных линз дает много новых возможностей, например, можно сделать линзу, имеющую два, три и т.д. фокусных размера, для чего набор можно разбить на два, три и т.д. слоев, состоящих из миниатюрных линз с различными фокусными расстояниями.

Миниатюрные линзы с размером каналов на микронном и субмикронном уровне получают по технологии вытяжки сложных геометрических фигур в определенном температурном поле в печи с соответствующей конфигурацией.

Оптическая система, изображенная на фиг.26, выполненная в виде пучка конусных линз, содержащего, в том числе, миниатюрные линзы 33, позволяет эффективно фокусировать квазипараллельное излучение. Кроме того, такая конструкция позволяет подавить жесткую часть спектра излучения. Это связано с тем, что по мере прохождения излучения по каналам как для фотонов, так и для нейтронов увеличивается угол отражения по отношению к стенкам каналов. Так как более жесткое излучение имеет меньший угол отражения, в первую очередь из режима многократного отражения выбывают фотоны и нейтроны высоких энергий.

При выполнении линзы из модулей 30 (фиг.20, фиг.22) или из более мелких модулей 31 (фиг.22) такие модули могут

- 37 -

представлять собой описанные выше миниатюрные линзы.

На фиг.27 показана полулинза в форме полубочки для преобразования расходящегося излучения источника I в квази-  
5 параллельное. Входной торец 34 этой полулинзы выполнен вогнутым для обеспечения равномерной интенсивности выходного пучка в пределах его поперечного сечения.

На фиг.28-30 представлены симметричная и несимметричные линзы бочкообразной формы для фокусировки расходящегося излучения источника I. В случае использования симметричной линзы по фиг.28 излучение фокусируется на расстоянии  $f$  от ее выходного торца, равном расстоянию между источником I и входным торцом. Для линз по фиг.29,30 эти расстояния различны и равны, соответственно,  $f_2$  и  $f_1$ .  
10 При этом в линзе по фиг.29 каналы по всей их длине имеют один и тот же радиус изгиба, а в линзе на фиг.30 каналы транспортировки излучения в правой части имеют изгиб с радиусом  $R_2$ , большим, чем радиус  $R_1$  изгиба в левой части. Возможно выполнение линз, несимметричных в продольном  
15 сечении, и с переменным плавно изменяющимся по монотонному закону радиусом изгиба каналов. Линза с изогнутыми каналами может иметь также форму раструба (фиг.31). В этом случае ее боковая поверхность, в отличие от линз по фиг.27-30, является не выпуклой, а вогнутой. Такую линзу  
20 целесообразно применять для получения увеличенного изображения объекта, находящегося перед ее входным торцом, в случае использования квазитоочечного источника излучения. Точность получаемого при этом изображения примерно равна поперечному размеру канала на входе линзы.

30 Кроме того, что предлагаемая линза может содержать каналы, упорядоченные в ее поперечном сечении в рассмотренном выше смысле, каждый "слой" каналов, как правило, имеет свой радиус кривизны и, как следствие этого, свою длину. (Под слоями каналов здесь понимаются, в частности,  
35 группы каналов, образующие замкнутые контуры - прямоугольные при прямоугольном поперечном сечении линзы, показанном на фиг.22, кольцевые - при круглом поперечном сечении; слой может быть образован и одним каналом, имеющим соот-

- 38 -

ветствующую конфигурацию, как показано, например, на фиг.32. Такие слои коаксиальны и охватывают продольную ось линзы, находясь от нее на разных расстояниях. Слои могут и не образовывать замкнутых контуров, например, быть "плоскими" - при прямоугольном поперечном сечении линзы (фиг.19), имея ширину, равную ширине этого сечения. Для каждого из таких слоев, расположенных по одну сторону от плоскости симметрии линзы, проходящей через ее продольную ось, должен существовать такой же симметрично расположенный слой по другую сторону от указанной плоскости. В изображении поперечного сечения линзы каналы, образующие такие слои, симметричны относительно оси этого поперечного сечения). Поэтому монохроматические фотоны испытывают разное количество отражений в разных каналах, и после выхода из линзы возникает, при волновом рассмотрении, система волн с разными фазами. Разность фаз создается разными длинами пробега фотонов в каналах. В случае хаотического расположения каналов это не приводит к каким-либо полезным эффектам. Однако при наличии осевой симметрии это приводит, как уже отмечалось, к интерференции волн. Практически важным оказывается тот факт, что в центральном максимуме сосредоточивается значительная часть энергии, выходящей из линзы, а сам размер центрального интерференционного пятна оказывается близким к поперечному размеру одного канала транспортировки излучения.

В ряде случаев прямые моно- или поликапилляры или набор из них можно эффективно использовать для фокусировки излучения, идущего из квазиточечного источника. При этом угол захвата излучения равен  $2\theta_c$ , а число отражений равно единице. Один из таких случаев, когда используется система ориентированных на источник моно- или поликапилляров, показан на фиг.33. При этом торцы капилляров лежат на двух сферических поверхностях 34, 35 соответственно радиусов  $R$ ,  $R^*$  с общим центром 36. Источник  $I$  излучения располагается на оси оптической системы на расстоянии  $R/2$  от внутренней сферической поверхности, а размеры оп-



- 39 -

5 тической системы и длины капилляров подбирают так, что угол захвата равен  $4\theta_c$  и излучение испытывает только одно отражение. Эту же линзу можно использовать для фокусировки квазипараллельного пучка.

10 Капиллярные линзы и полулинзы можно сделать так, что они во многих отношениях будут действовать подобно зонным пластинкам Френеля. Для этого необходимо, чтобы площади всех слоев были примерно одинаковы. Этого можно добиться двумя путями.

Первый путь заключается в следующем. При заданной энергии захват излучения определяется фактором

15 
$$\gamma = \frac{R\theta_c^2}{2d} ; \text{ если } R < R_c = \frac{2d}{\theta_c^2}, \text{ то}$$
  

$$\gamma < 1,$$
 то есть заполнение капилляра излучением меньше 1. Площадь  $n$ -ного слоя капилляров, находящегося на расстоянии  $R_n$  от центра, очевидно, равна  $S_n = 2\pi R_n \Delta R_n$ , где  $\Delta R_n$  - диаметр капилляра на  $n$ -ном слое (или ширина  $n$ -ного слоя). Но  $\Delta R_n$  пропорционально  $\gamma$ , а послед-  
 20 нее -  $R_n$ . Если теперь выбрать  $R_n \sim \frac{1}{n}$  (то есть радиусы изгиба капилляров уменьшаются по мере удаления от центра), то очевидно, что  $S_n$  пропорционально  $R_n \frac{1}{n}$ , но так как  $R_n$  пропорционально  $n$ , то  $S_n$  не зависит  
 25 от  $n$ , то есть все слои имеют одинаковую площадь, но ширина слоев уменьшается от центра к периферии. Такая геометрия полностью аналогична геометрии зонной пластинки Френеля.

Вторая возможность заключается в том, что с самого начала каждый слой капилляров делается с разными диаметрами, чтобы удовлетворить условию постоянства площадей  
 30 всех слоев.

В обоих случаях линза будет работать аналогично зонной пластинке Френеля.

35 При изготовлении капиллярных линз и полулинз капилляры можно вытягивать таким образом, что они являются кручеными. При этом траектории фотонов напоминают винтообразную линию. Можно сделать так, что часть капилляров

- 40 -

- "крутится" в одном направлении, другая часть - в другом направлении. Это позволяет получить ряд интересных возможностей. Во-первых, если на вход линзы подать пучок неполяризованных фотонов (или нейтронов, заряженных частиц), благодаря эффекту кручения пучок можно разделить на ряд плоскополяризованных пучков. Во-вторых, если первоначально имеется плоскополяризованный пучок, то плоскость поляризации этого пучка вращается в крученом капилляре.
- 10       Дополнительные возможности открываются благодаря нанесению на стенки каналов транспортировки излучения покрытий для обеспечения диффузного и потенциального рассеяния или интерференции транспортируемого излучения на многослойных структурах, образуемых этими покрытиями и стенками каналов (наличие таких покрытий условно показано штриховыми линиями на фиг.21,25,26,31).
- 15

Для того, чтобы мягкую часть спектра отсечь, так чтобы в результате из сложного спектра получить квази-монохроматический спектр, можно покрыть стенки каналов материалом, который эффективно поглощает эту часть спектра.

20

Выполнение покрытий слоистыми позволяет не только транспортировать, но и селективно отбирать часть излучения. Благодаря возникающей в этом случае интерференции внутри каналов резко увеличиваются критический угол и коэффициент отражения.

25

Наличие небольшого переходного слоя во многих случаях может резко повысить эффективность линзы. Например, при транспортировке нейтронов этот слой можно сделать ферромагнитным, что увеличит угол отражения. При транспортировке заряженных частиц слой можно сделать кристаллическим. При этом отражение будет происходить подобно каналированию частиц в кристаллах.

30

Покрытие диэлектрической подложки металлическим слоем дает возможность "каналирования" заряженных частиц через такую среду. В противном случае диэлектрик заряжается и препятствует своим зарядом "каналированию" частиц.

35

- 41 -

В этом случае мы имеем различия в свойствах между подложкой и отражающей поверхностью, так как отражающая поверхность - металлический слой.

5 При одновременном использовании многократного отражения излучения на чередующихся средах с различными физическими свойствами и его рассеяния появляется возможность эффективно управлять этим излучением, а линзы, реализующие это сочетание, могут быть широко внедрены в различных областях техники. В частности, можно использовать набор прямоугольных или квадратных капилляров, покрытых многослойной структурой так, что период структуры чередуется, создавая после отражения два разных квазимономатических пучка, одинаково ориентированных в пространстве.

15 Чередующиеся среды могут находиться в разных фазовых состояниях. Для заряженных частиц в качестве отражающей среды используют кристаллические структуры, например, слой толщиной в десятки ангстрем. При этом отражение от этого слоя происходит аналогично тому, как это имеет место при канализировании между атомными плоскостями кристалла.

Критический угол отражения нейтронов в слое, где имеется магнитное поле, определяется по формуле:

$$25 \quad \theta_c = \lambda [N\bar{b}/\pi \pm (m/2\pi^2\hbar^2)\mu B]^{1/2}$$

где  $N$  - плотность ядер;

$\lambda$  - длина волны нейтрона;

$\bar{b}$  - ядерная когерентная амплитуда рассеяния;

30  $\mu$  - магнитный момент нейтрона;

$m$  - масса нейтрона;

$B$  - магнитная индукция;

$\hbar$  - постоянная Планка.

Наличие двух знаков, а значит и двух углов, связано с двумя возможными поляризациями спина нейтрона.

При больших магнитных полях, когда  $N\bar{b} < (m/2\pi^2\hbar^2)\mu B$ , будет наблюдаться один критический угол отражения. При

- 42 -

этом полностью отраженные нейтроны будут поляризованы.

Поэтому, например, создавая двухмерные или трехмерные структуры с магнитной отражающей поверхностью, можно  
5 управлять не только траекториями, но и поляризацией нейтронов.

Можно создать чередующиеся среды, в которых отражающая среда является магнитным зеркалом, например, тонким кобальтовым зеркалом. Используя чередующиеся среды с раз-  
10 ными магнитными свойствами, можно увеличить критические углы отражения, не уменьшая при этом коэффициент отражения.

### Промышленная применимость

15

Предлагаемые изобретения могут быть использованы в аналитическом приборостроении, более конкретно - в элементном анализе, трехмерном локальном анализе, дефектоскопии, экологическом контроле, <sup>для создания</sup> томографов с микронным и  
20 субмикронным разрешением, в микроскопии для создания микроскопов высокой эффективности и яркости, в частности, в микроскопии биологических объектов, в микроэлектронике для контактной и проекционной литографии, в рентгеновской и нейтронной дифрактометрии для создания коллиматоров  
25 нового типа, в качестве дифракционных и интерференционных приборов нового типа, в частности, для усиления плотности излучения.

В медицине изобретения могут быть использованы для ранней диагностики онкологических, сердечно-сосудистых и  
30 других заболеваний, для создания эндоскопов и дентальных аппаратов нового типа, для терапии неоперабельных заболеваний, раковых опухолей, в нейрохирургии, в ядерной медицине и т.д.

- 43 -

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

- 5 1. Устройство для получения изображения объекта, содержащее источник (1) излучения в виде потока нейтральных или заряженных частиц, средство (2) для размещения объекта с возможностью воздействия на него излучения, создаваемого источником, средство (4) для формирования изображения, выполненное с возможностью регистрации распределения
- 10 интенсивности излучения после взаимодействия с объектом, и оптическую систему, имеющую, по меньшей мере, одну линзу для преобразования потока частиц, установленную между источником (1) излучения и средством (2) для размещения объекта или между этим средством и средством (4) для формирования
- 15 изображения, образованную набором каналов с отражающими стенками для транспортировки излучения, отличающаяся тем, что в поперечном сечении указанной линзы все или часть каналов для транспортировки излучения расположены упорядоченно с соблюдением осевой симметрии.
- 20 2. Устройство по п.1, отличающаяся тем, что для совокупности каналов, расположенных в поперечном сечении линзы упорядоченно, соблюдено условие зеркальной симметрии относительно одной или двух взаимно перпендикулярных осей указанного сечения.
- 25 3. Устройство по п.1, отличающаяся тем, что для совокупности каналов, расположенных в поперечном сечении линзы упорядоченно, соблюдено условие центральной или вращательной симметрии относительно продольной оси линзы.
- 30 4. Устройство по п.1, отличающаяся тем, что линза выполнена в виде ансамбля миниатюрных линз.
- 35 5. Устройство по п.4, отличающаяся тем, что линза образована плотно уложенными миниатюрными линзами, в совокупности имеющими поперечное сечение, изменяющееся по длине линзы в соответствии с ее продольным профилем.

- 44 -

6. Устройство по п. I, отличающееся тем, что каналы, расположенные в поперечном сечении линзы упорядоченно с соблюдением осевой симметрии, сгруппированы в несколько расположенных упорядоченно с соблюдением осевой симметрии одинаковых модулей (30).

7. Устройство по п. 6, отличающееся тем, что линза наряду с указанными модулями (30), являющимися модулями первого уровня, содержит модули (31) более высоких уровней, при этом каждый модуль каждого из предыдущих уровней образован модулями следующего уровня, имеющими такие же количество, форму и взаимное расположение, как и модули первого уровня.

8. Устройство по п. 6 или п. 7, отличающееся тем, что каждый из модулей самого высокого уровня представляет собой миниатюрную линзу.

9. Устройство по любому из п. п. I-7, отличающееся тем, что средство (4) для формирования изображения расположено с возможностью транспортировки к нему излучения, прошедшего через объект.

10. Устройство по п. 9, отличающееся тем, что оптическая система содержит совокупность несимметричных линз (3), установленных между средством (2) для размещения объекта и средством (4) для формирования изображения, собранных с возможностью транспортировки излучения от разных элементов объекта.

11. Устройство по п. 9, отличающееся тем, что оптическая система содержит установленную между средством (2) для размещения объекта и средством (4) для формирования изображения расширяющуюся полулинзу (7) для увеличения изображения, выполненную из конусообразных капилляров или поликапилляров.

12. Устройство по п. II, отличающееся тем, что источник (1) излучения установлен в фокусе расширяющейся полулинзы (7), выполненной из конусообразных капилляров или поликапилляров.

13. Устройство по п. II, отличающееся

- 45 -

5 тем, что источник (I) излучения установлен на оптической оси расширяющейся полулинзы (7), выполненной из конусообразных капилляров или поликапилляров, со смещением относительно ее фокуса.

10 14. Устройство по п. II, отличающееся тем, что источник излучения выполнен с выходной апертурой в виде круга с экранированной центральной частью, расположенной на оптической оси расширяющейся полулинзы, выполненной из конусообразных капилляров или поликапилляров, в ее фокальной плоскости.

15 15. Устройство по п. II, отличающееся тем, что оптическая система дополнительно содержит вторую расширяющуюся полулинзу (7'), выполненную из конусообразных капилляров или поликапилляров, имеющую меньшие размеры в поперечном сечении по сравнению с первой (7) и установленную между источником (I) излучения и средством (2) для размещения объекта.

20 16. Устройство по п. 9, отличающееся тем, что оптическая система содержит линзу или полулинзу для формирования квазипараллельного пучка частиц, расположенную между источником излучения и средством для размещения объекта.

25 17. Устройство по п. 16, отличающееся тем, что источник (I) излучения выполнен с возможностью формирования двух характеристических  $K_{\alpha}$ -линий спектра, при этом оптическая система дополнительно содержит установленное перед линзой или полулинзой для формирования квазипараллельного пучка или после нее окно-фильтр (8),  
30 выполненное с возможностью вращения и имеющее чередующиеся секторы для подавления излучения одной из  $K_{\alpha}$ -линий спектра, указанная линза или полулинза имеет продольную ось с изгибом для отсеечения жесткой части излучения  
35 либо прямолинейную продольную ось с установкой в этом случае перед средством (2) для размещения объекта набора параллельных капилляров (II) для отсеечения жесткой части излучения.

- 46 -

18. Устройство по п.16, отличающееся тем, что источник (1) излучения выполнен с возможностью формирования двух характеристических  $K_{\alpha}$ -линий спектра, при этом оптическая система дополнительно содержит вторую линзу или полулинзу (9') для формирования квазипараллельного пучка, не параллельного первому, и два кристалла-монокроматора (12, 12') для выделения каждым из них одной из двух  $K_{\alpha}$ -линий спектра, установленные с возможностью отражения монохроматизированных пучков в сторону средства (2) для размещения объекта, кроме того, устройство дополнительно содержит экран (13, 13') для предотвращения прямого попадания излучения, создаваемого источником (1), на средство (2) для размещения объекта и второе средство (4') для формирования изображения, причем каждое средство (4, 4') для формирования изображения установлено за средством (2) для размещения объекта с возможностью регистрации распределения интенсивности прошедшего через объект излучения, отраженного одним из кристаллов-монокроматоров (12, 12').

19. Устройство по п.9, отличающееся тем, что оптическая система содержит установленную между источником (1) излучения и средством (2) для размещения объекта линзу (5), выполненную с возможностью фокусирования излучения внутри объекта, причем эта линза, источник (1) излучения и средство (4) для формирования изображения установлены с возможностью совместного вращательного перемещения относительно средства (2) для размещения объекта без изменения взаимного расположения их относительно друг друга с сохранением расположения точки (6) фокусирования излучения как центра указанного вращательного перемещения.

20. Устройство по любому из п.п.1-7, отличающееся тем, что средство для формирования изображения установлено с возможностью транспортировки к нему вторичного излучения, рассеянного или возбужденного в веществе объекта при взаимодействии с ним излучения, создаваемого источником.



- 47 -

21. Устройство по п.20, отличающееся тем, что источник излучения, выполнен с возможностью формирования потока (16) электронов или ионов для возбуждения в веществе объекта (2) вторичного рентгеновского излучения, оптическая система содержит полулинзу (17) для транспортировки вторичного излучения к средству (4) для формирования изображения, установленную с возможностью сканирования объекта (2) ее фокусом.

10 22. Устройство по п.20, отличающееся тем, что его оптическая система содержит линзу (5) для транспортировки излучения, создаваемого источником (1), к средству (2) для размещения объекта и линзу (15) для транспортировки вторичного излучения к средству (4) для формирования изображения, имеющие общий фокус и установленные с возможностью их совместного перемещения для сканирования объекта общим фокусом.

20 23. Устройство по п.21 или п.22, отличающееся тем, что между линзой (15, 17) для транспортировки вторичного излучения к средству (4) для формирования изображения и этим средством установлено средство (12) для монохроматизации пучка.

24. Устройство по п.22, отличающееся тем, что между линзой для транспортировки излучения, создаваемого источником, к средству для размещения объекта и этим средством расположена поляризационная мишень, установленная с возможностью изменения направления отраженного от нее пучка на  $90^\circ$  по отношению к падающему.

25. Устройство по п.24, отличающееся тем, что поляризационная мишень выполнена в виде кристалла-монохроматора.

26. Устройство по п.21 или п.22, отличающееся тем, что линза для транспортировки вторичного излучения выполнена с каналами транспортировки, имеющими центральную симметрию относительно ее оптической оси, и с возможностью фокусирования транспортируемого излучения в пространстве между ее выходным торцом и средством для формирования изображения, причем в этом пространстве

- 48 -

установлена с возможностью его сканирования микродиафрагма.

27. Устройство по п.26, отличающееся тем, что микродиафрагма установлена с расположением ее отверстия на оптической оси указанной линзы при смещении из фокуса, соответствующего заданной энергии транспортируемых частиц, на расстояние

$$\Delta f = f \frac{\Delta E}{E},$$

где  $E$  - заданная энергия транспортируемых частиц;  
 $f$  - фокусное расстояние указанной линзы, соответствующее этой энергии;

- $\Delta E$  - требуемый уровень разрешения по энергии.

28. Устройство по п.20, отличающееся тем, что оптическая система содержит линзу (9), установленную между источником (1) излучения и средством (2) для размещения объекта и выполненную с возможностью формирования квазипараллельного пучка, и коллиматор (20) в виде системы прямых капилляров, установленный между средством (2) для размещения объекта и средством (4) для формирования изображения, при этом источник (1) излучения, линза (9), коллиматор (20) и средство (4) для формирования изображения расположены в одном полупространстве относительно средства (2) для размещения объекта.

29. Устройство по п.20, отличающееся тем, что оптическая система содержит установленную между источником излучения и средством для размещения объекта линзу (5), выполненную с возможностью фокусирования излучения внутри объекта, и коллиматор (21) в виде системы конусообразных капилляров, сфокусированный в ту же точку, что и линза (5), установленный между средством (2) для размещения объекта и средством (4) для формирования изображения, при этом линза (5), коллиматор (21) и средство (4) для формирования изображения расположены в одном полупространстве относительно средства (2) для размещения

объекта и установлены с возможностью совместного перемещения относительно него без изменения взаимного расположения относительно друг друга.

5 30. Устройство по п.20, отличающееся тем, что источник (1) излучения выполнен с возможностью формирования квазипараллельного плоскополяризованного излучения, а оптическая система содержит линзу (22) для фокусирования плоскополяризованного излучения, состоящую из квадратных моно- или поликапилляров, установленную между источником (1) излучения и средством (2) для размещения объекта и выполненную с возможностью фокусирования излучения внутри объекта, линзу (23), состоящую из конусообразных капилляров, расположенную перед средством  
10 (4) для формирования изображения и имеющую общий фокус с линзой (22) для формирования плоскополяризованного излучения и оптическую ось, расположенную в плоскости вектора напряженности магнитного поля этого излучения и перпендикулярно оптической оси линзы (22) для фокусирования  
20 плоскополяризованного излучения, а также расположенную на продолжении оптической оси последней и имеющую с ней общий фокус линзу (24) для формирования квазипараллельного излучения, за которой установлено дополнительное средство (4') для формирования изображения, при этом источник  
25 (1) излучения, все указанные линзы и оба средства для формирования изображения установлены с возможностью совместного перемещения относительно средства (2) для размещения объекта без изменения взаимного расположения относительно друг друга.

30 31. Линза для преобразования потока нейтральных или заряженных частиц, образованная набором каналов с отражающими стенками для транспортировки излучения, отличающаяся тем, что в ее поперечном сечении все или часть указанных каналов расположены упорядоченно с  
35 соблюдением осевой симметрии.

32. Линза по п.31, отличающаяся тем, что для совокупности каналов, расположенных в ее попе-

- 50 -

речном сечении упорядоченно, соблюдено условие зеркальной симметрии относительно одной или двух взаимно перпендикулярных осей указанного сечения.

5 33. Линза по п.32, отличающаяся тем, что каналы выполнены с прямолинейными продольными осями.

34. Линза по п.32, отличающаяся тем, что каналы, продольная ось которых не совпадает с осью или хотя бы с одной из плоскостей симметрии линзы в ее продольном сечении, выполнены изогнутыми при одинаковом изгибе всех каналов, равноудаленных от указанных оси или плоскости, и имеющими поперечное сечение, изменяющееся по длине в соответствии с продольным профилем линзы.

10 35. Линза по п.31, отличающаяся тем, что для совокупности каналов, расположенных в ее поперечном сечении упорядоченно, соблюдено условие центральной или вращательной симметрии относительно продольной оси линзы.

20 36. Линза по п.35, отличающаяся тем, что каналы выполнены с прямолинейными продольными осями.

37. Линза по п.35, отличающаяся тем, что каналы, кроме центрального, выполнены изогнутыми при одинаковом изгибе всех каналов, равноудаленных от продольной оси линзы, и имеющими поперечное сечение, изменяющееся по длине линзы в соответствии с ее продольным профилем.

38. Линза по любому из п.п.31,32,35, отличающаяся тем, что каналы, расположенные в ее поперечном сечении упорядоченно с соблюдением осевой симметрии, сгруппированы в несколько расположенных упорядоченно с соблюдением осевой симметрии одинаковых модулей (30).

39. Линза по п.38, отличающаяся тем, что каждый из указанных модулей (30), являющихся модулями первого уровня, образован модулями (31) второго уровня, имеющими количество, форму и взаимное расположение, одинаковые с модулями первого уровня.

40. Линза по п.30, отличающаяся тем,

- 51 -

что наряду с указанными модулями, являющимися модулями первого уровня, она содержит модули более высоких уровней, при этом каждый модуль каждого из предыдущих уровней образован модулями следующего уровня, имеющими количество, форму и взаимное расположение, одинаковые с модулями первого уровня.

5 41. Линза по п.38, отличающаяся тем, что каналы выполнены с прямолинейными продольными осями.

10 42. Линза по п.38, отличающаяся тем, что каналы, продольная ось которых не совпадает с осью или хотя бы с одной из плоскостей симметрии линзы в ее продольном сечении, выполнены изогнутыми при одинаковом изгибе всех каналов, равноудаленных от указанных

15 оси или плоскости, и имеющими поперечное сечение, изменяющееся в соответствии с продольным профилем линзы.

43. Линза по любому из п.п.33,36,41, отличающаяся тем, что каналы выполнены с параллельными продольными осями.

20 44. Линза по п.43, отличающаяся тем, что каналы образованы внутренними стенками стеклянных моно- или поликапилляров.

45. Линза по любому из п.п.33,36,41, отличающаяся тем, что каналы выполнены с равномерно изменяющимся по длине линзы поперечным сечением.

46. Линза по п.45, отличающаяся тем, что каналы выполнены конусообразными.

30 47. Линза по п.46, отличающаяся тем, что каналы образованы внутренними стенками стеклянных моно- или поликапилляров.

48. Линза по любому из п.п.34,37,42, отличающаяся тем, что она имеет форму раструба.

35 49. Линза по любому из п.п.34,37,42, отличающаяся тем, что она имеет форму полубочки либо симметричной или несимметричной бочки.

- 52 -

50. Линза по п.49, отличающаяся тем, что каналы образуют расположенные вокруг продольной оси линзы слои с одинаковыми для всех слоев суммарными площадями поперечных сечений принадлежащих им каналов, причем радиусы кривизны каналов, имеющих изгиб, уменьшаются по мере удаления слоя от продольной оси линзы к ее периферии.

51. Линза по п.50, отличающаяся тем, что каналы образованы внутренними стенками стеклянных моно- или поликапилляров.

52. Линза по п.51, отличающаяся тем, что радиусы кривизны всех изогнутых каналов не превышают

$$R_c = 2d/\theta_c^2,$$

где  $d$  - диаметр канала;

$\theta_c$  - критический угол отражения для частиц наименьшей энергии в спектре транспортируемого излучения.

53. Линза по п.51, отличающаяся тем, что радиусы кривизны всех изогнутых каналов имеют величину не менее

$$R_c = 2d/\theta_c^2,$$

где  $d$  - диаметр канала;

$\theta_c$  - критический угол отражения для частиц наибольшей энергии в спектре транспортируемого излучения.

54. Линза по п.51, отличающаяся тем, что радиусы кривизны всех каналов, имеющих изгиб, обратно пропорциональны отсчитываемому от продольной оси линзы номеру слоя, которому они принадлежат, и не превышают величины

$$R_c = 2d/\theta_c^2,$$

где  $d$  - диаметр отдельного канала;

- 53 -

④ - критический угол отражения для частиц наименьшей энергии в спектре транспортируемого излучения.

5 55. Линза по п.31, отличающаяся тем, что кривизна каналов, имеющих изгиб, переменна по длине линзы.

10 56. Линза по п.55, отличающаяся тем, что закон изменения кривизны каналов по длине линзы имеет монотонный характер.

57. Линза по любому из п.п.31-37, 39-42, 44, 46, 47, 50-56, отличающаяся тем, что она содержит каналы, имеющие винтообразную отражающую поверхность.

15 58. Линза по п.57, отличающаяся тем, что все каналы, имеющие винтообразную поверхность, выполнены с одинаковым направлением закручивания последней.

59. Линза по п.57, отличающаяся тем, что она содержит каналы с обоими направлениями закручивания винтообразных поверхностей.

20 60. Линза по любому из п.п.31-37, 39-42, 44, 46, 47, 50-56, 58, 59, отличающаяся тем, что на внутренние стенки каналов нанесены покрытия, имеющие, по меньшей мере, один слой и образующие вместе с самими стенками многослойную структуру с различными электромагнитными  
25 свойствами соседних слоев.

61. Линза по п.60, отличающаяся тем, что поверхности раздела, по меньшей мере, двух соседних сред находятся в ином фазовом состоянии по отношению к их подложке.

30 62. Линза по любому из п.п.31-37, 39-42, 44, 46, 47, 50-56, 58, 59, 61, отличающаяся тем, что на внутренние стенки каналов нанесены дифракционные структуры с одним или несколькими периодами.

35 63. Линза по п.33, отличающаяся тем, что каналы ориентированы радиально и имеют торцы, расположенные на двух концентрических сферических поверхностях (34, 35), и выполнены с возможностью захвата излучения

- 54 -

5 в пределах учетверенного критического угла отражения и однократного отражения излучения от их внутренних стенок при размещении источника (I) излучения на оптической оси линзы на расстоянии от внутренней сферической поверхности<sup>(34)</sup>равном половине ее радиуса.

64. Линза по любому из п.п.31-37, 39-42, 44, 46, 47, 50-56, 58, 59, 61, 63, отличающаяся тем, что она выполнена в виде набора миниатюрных линз (33), в совокупности имеющих поперечное сечение, изменяющееся по длине линзы в соответствии с ее продольным профилем.

10 65. Линза по п.38, отличающаяся тем, что каждый из модулей представляет собой миниатюрную линзу.

15 66. Линза по п.64, отличающаяся тем, что миниатюрные линзы (33) выполнены с неодинаковыми углами захвата излучения и фокусными расстояниями.

20 67. Линза по любому из п.п.31-37, 39-42, 44, 46, 47, 50-56, 58, 59, 61, 63, 65, 66, отличающаяся тем, что она содержит хаотически расположенные в ее поперечном сечении каналы транспортировки излучения, количество которых превышает количество упорядоченно расположенных каналов.



1 / 14

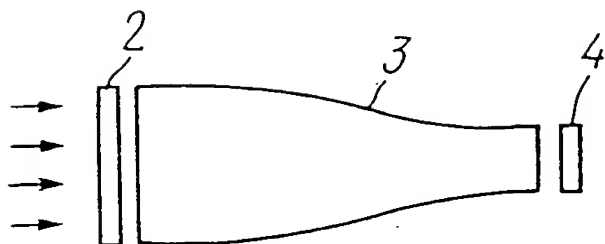


FIG. 1

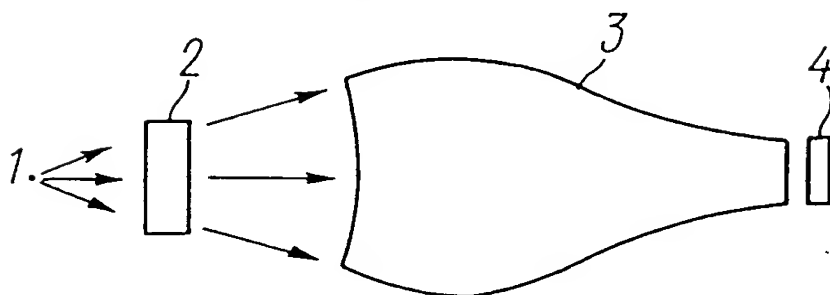


FIG. 2

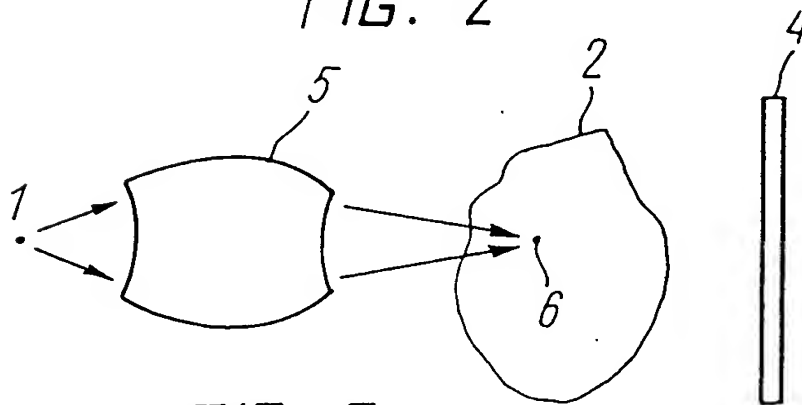


FIG. 3

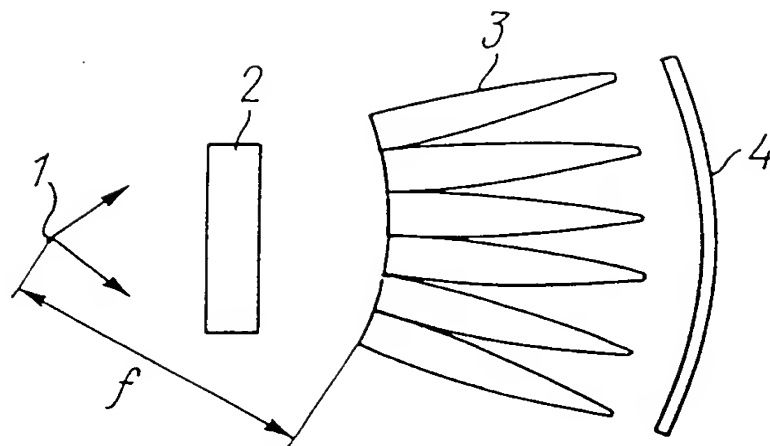


FIG. 4

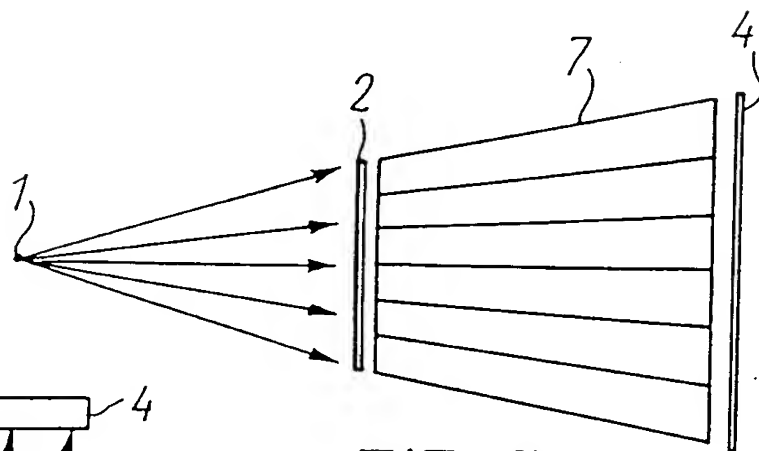


FIG. 5

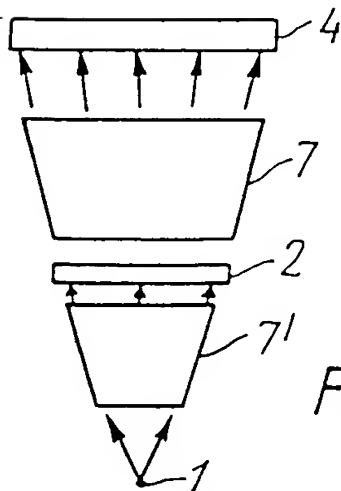


FIG. 6

3/14

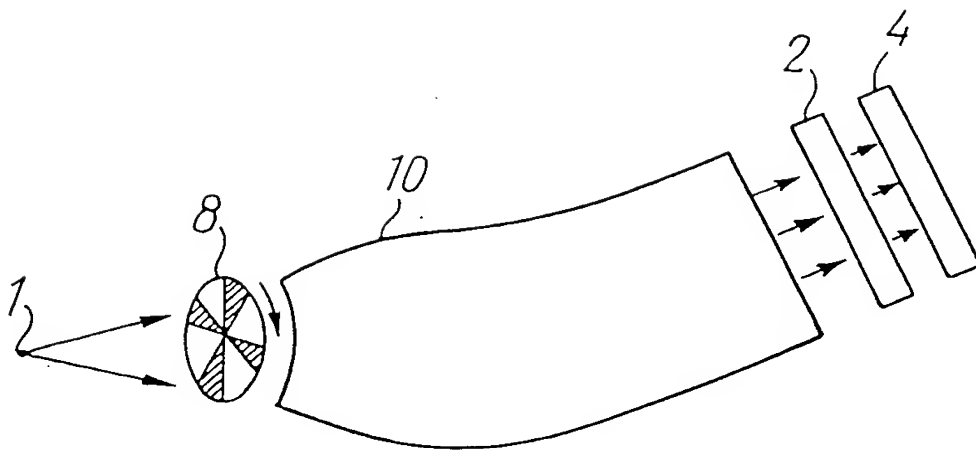


FIG. 7

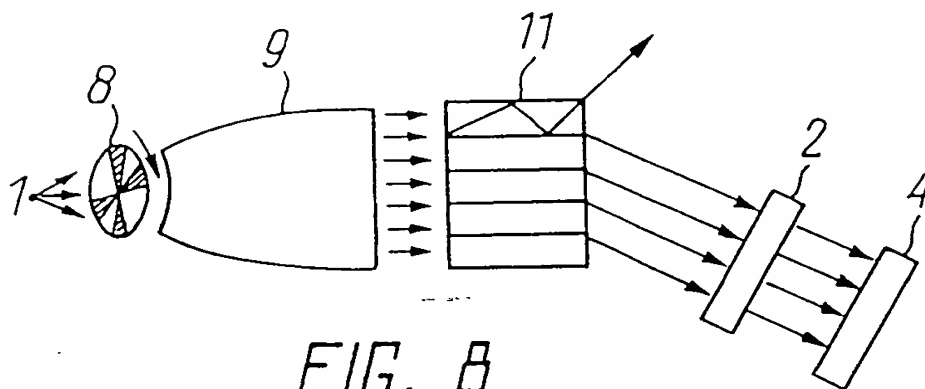


FIG. 8

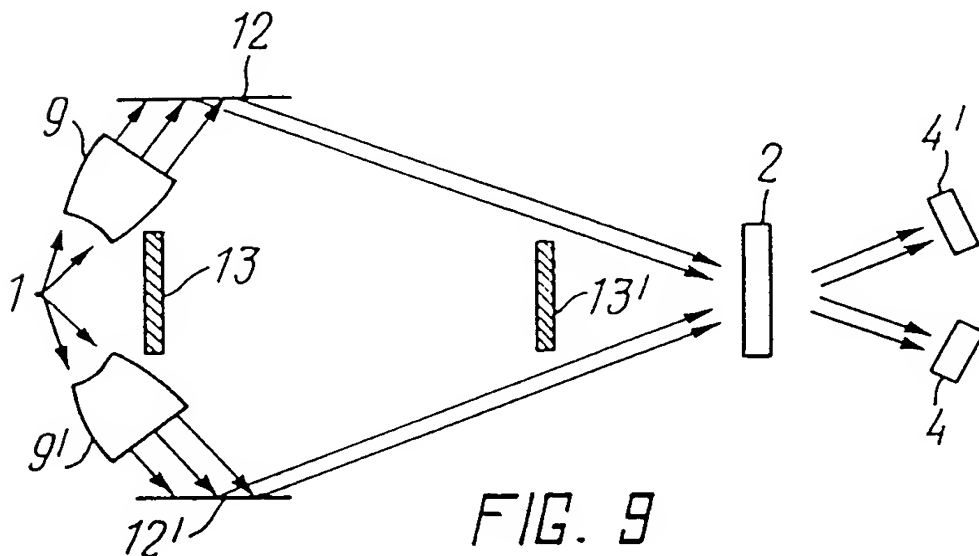


FIG. 9

4 / 14

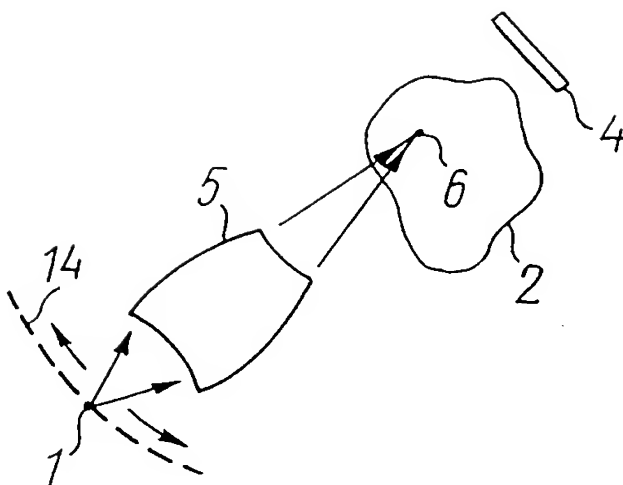


FIG. 10

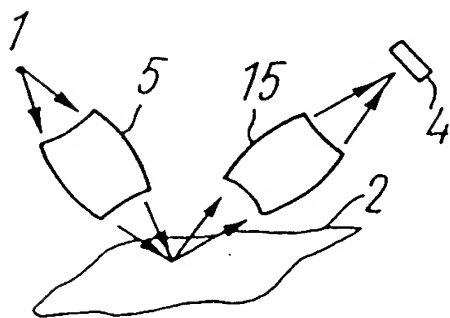


FIG. 11

5 / 14

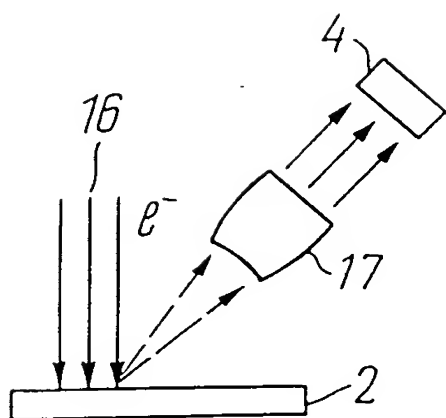


FIG. 12

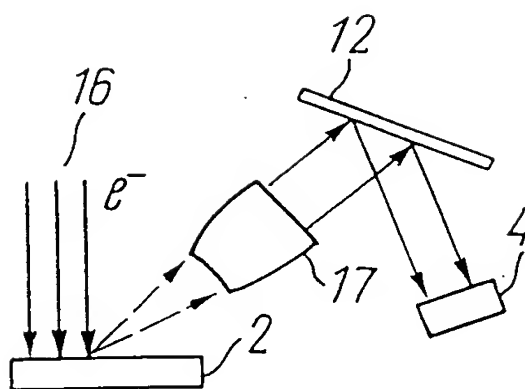


FIG. 13

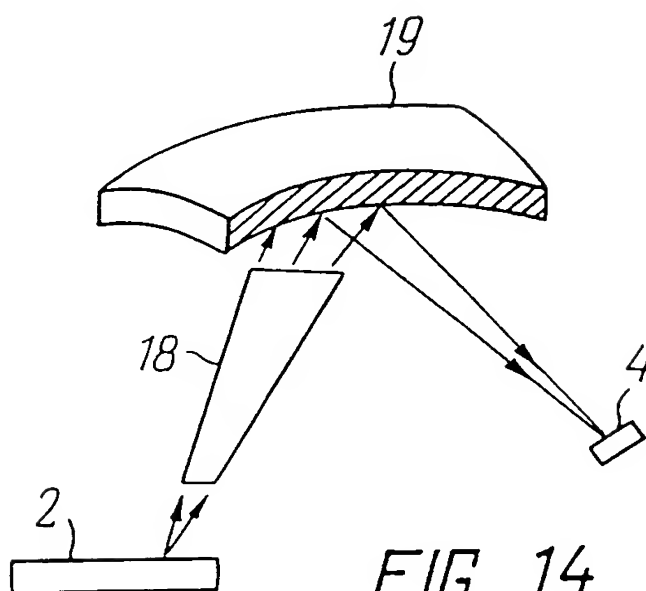


FIG. 14

6 / 14

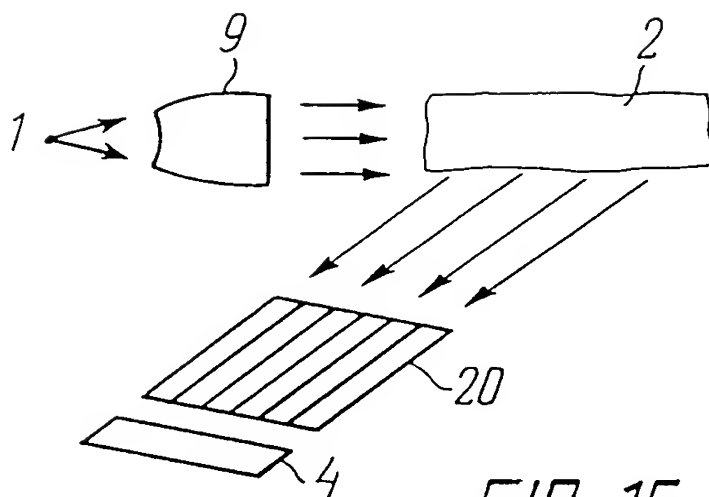


FIG. 15

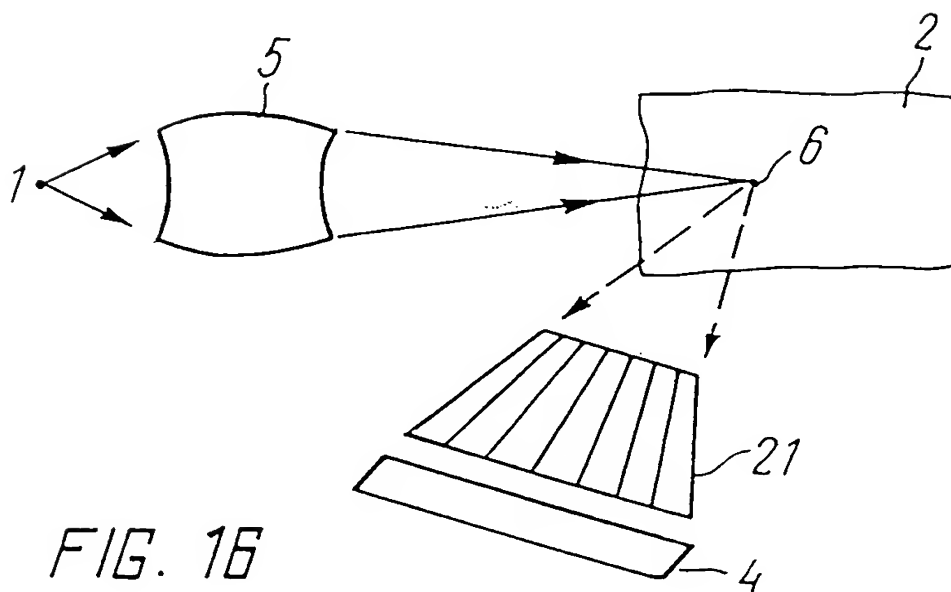


FIG. 16

7 / 14

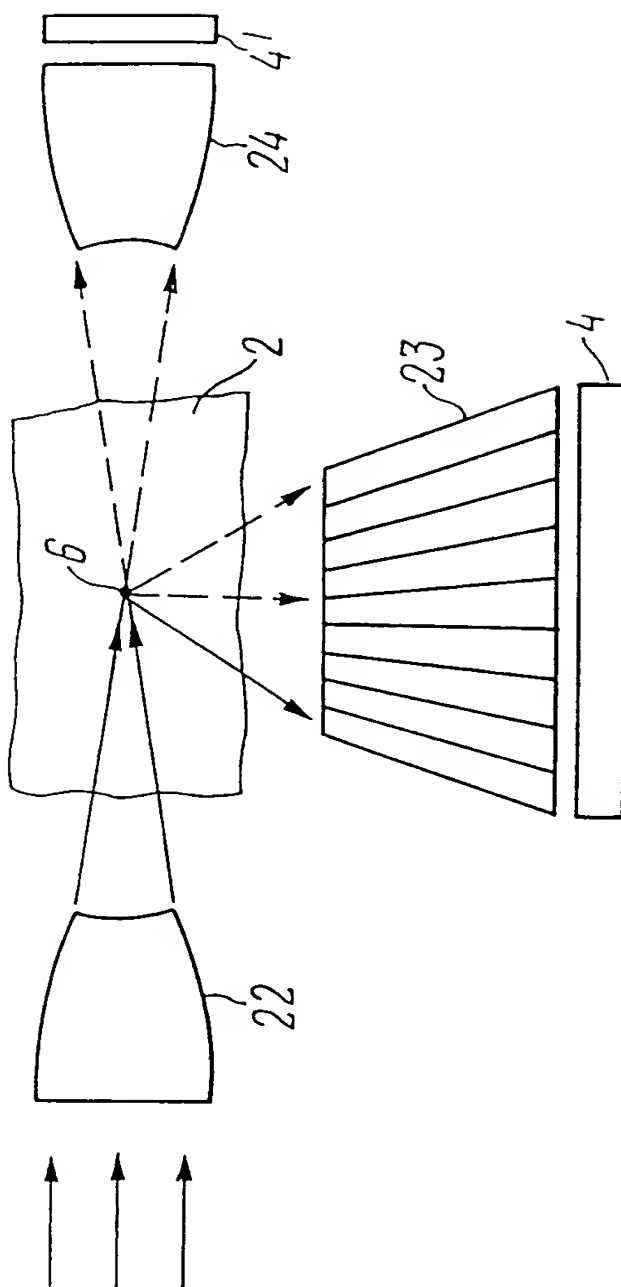
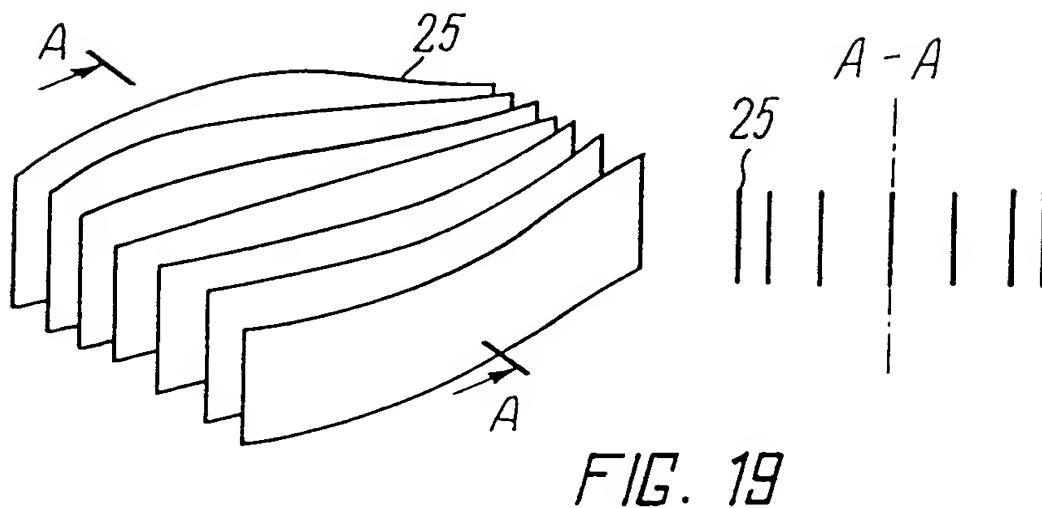
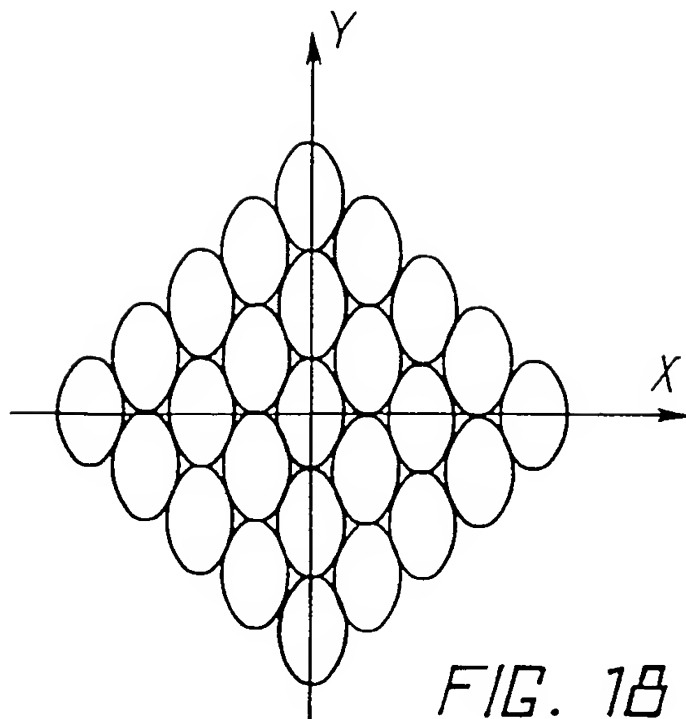


FIG. 17





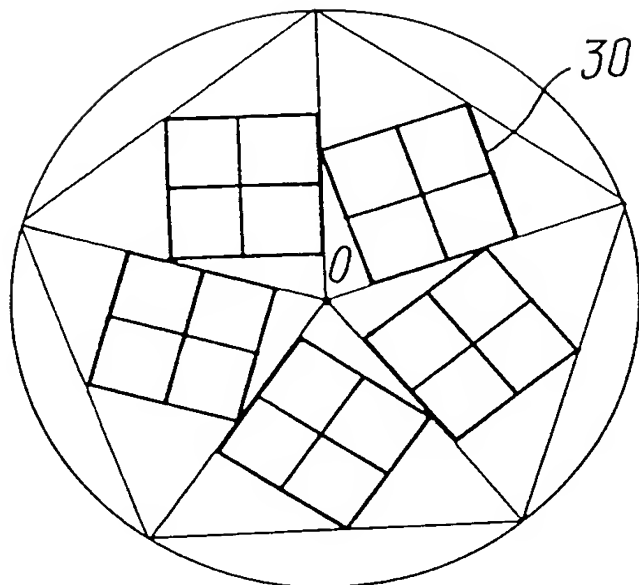


FIG. 20

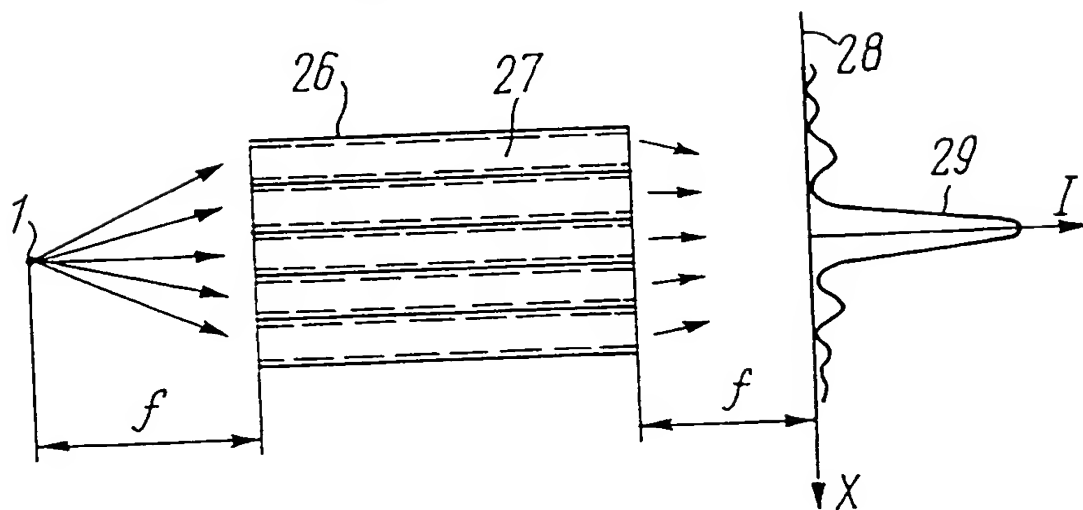


FIG. 21

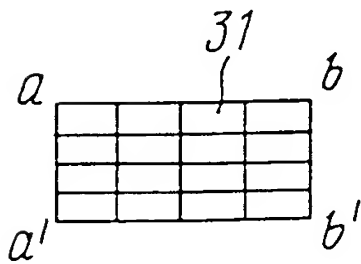
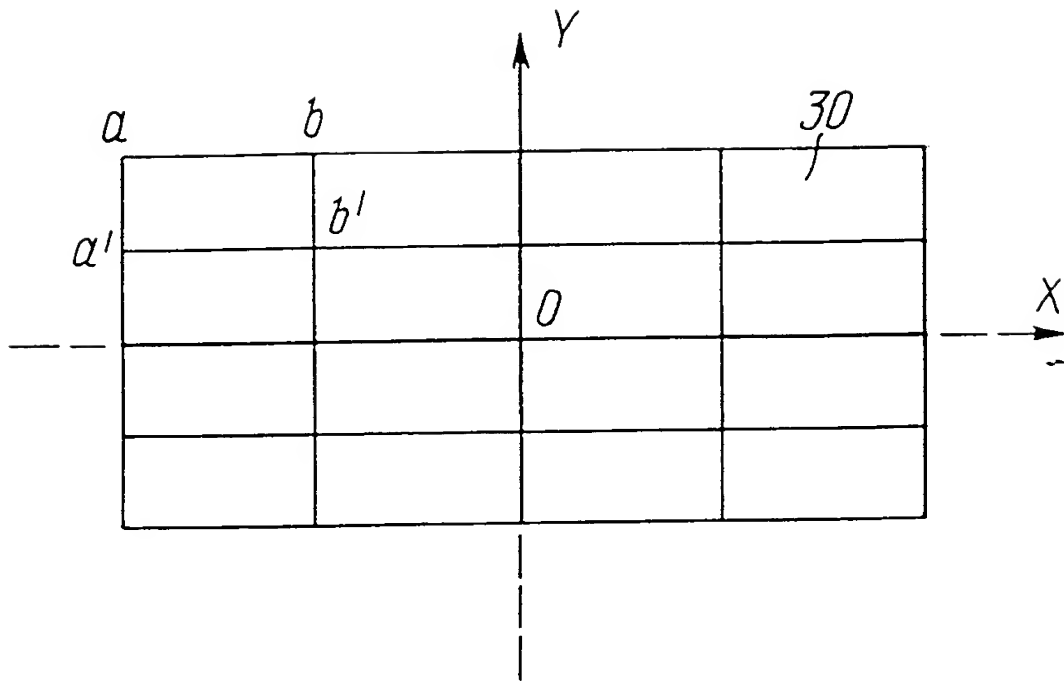


FIG. 22

11 / 14

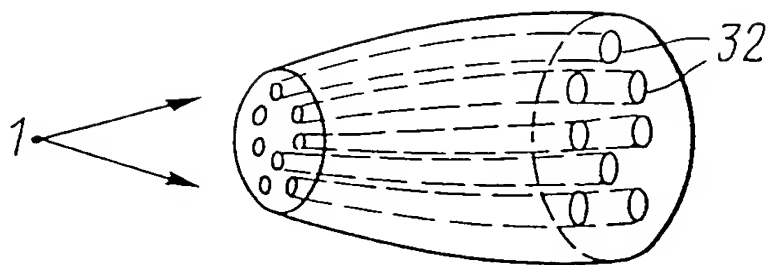


FIG. 23

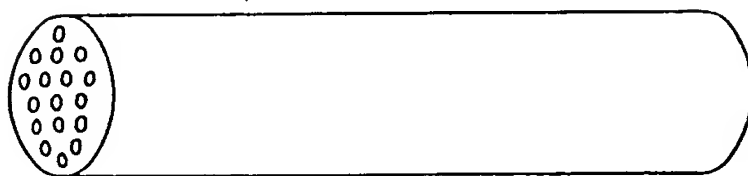


FIG. 24

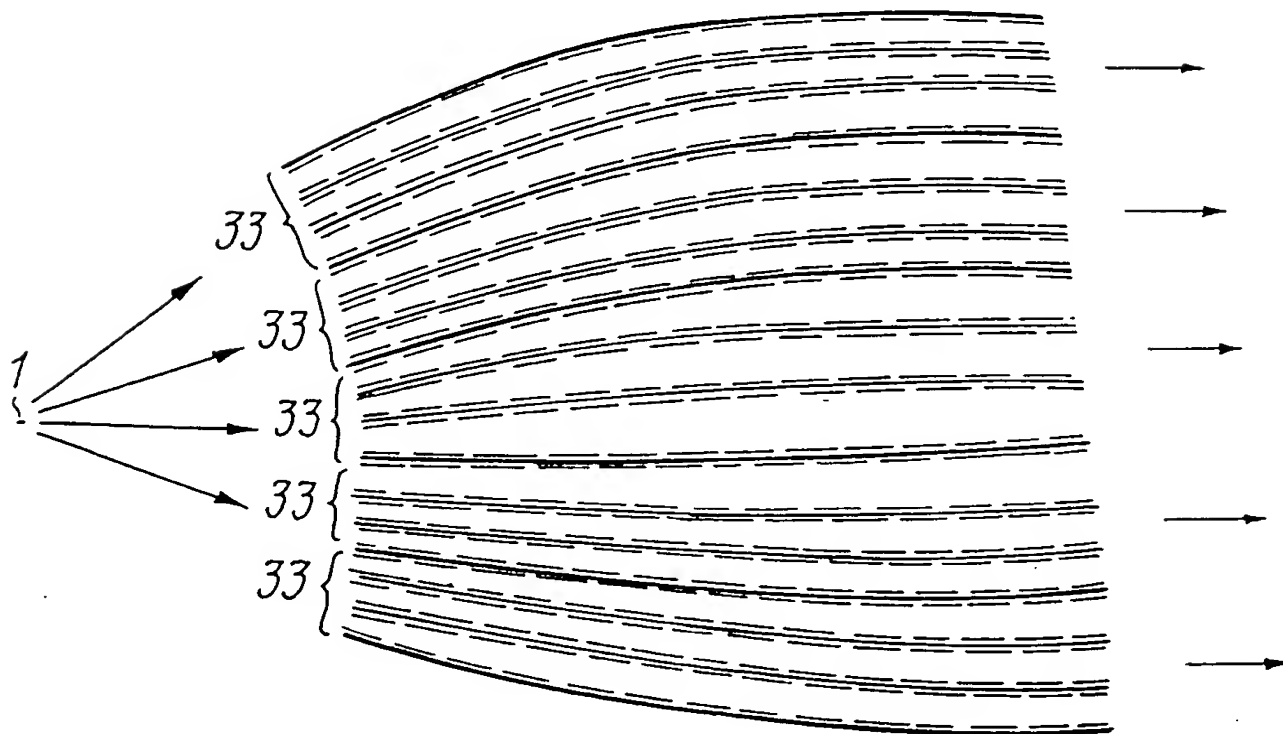


FIG. 25

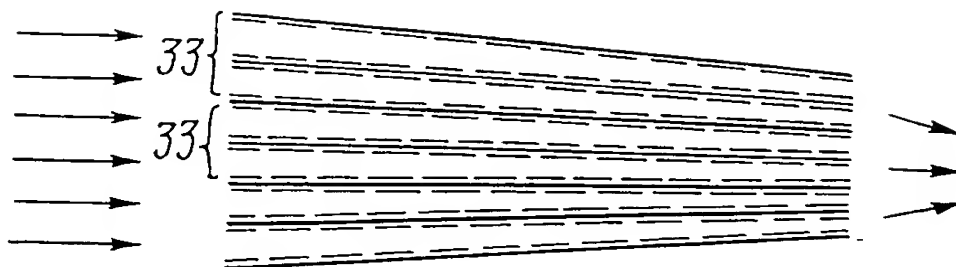


FIG. 26

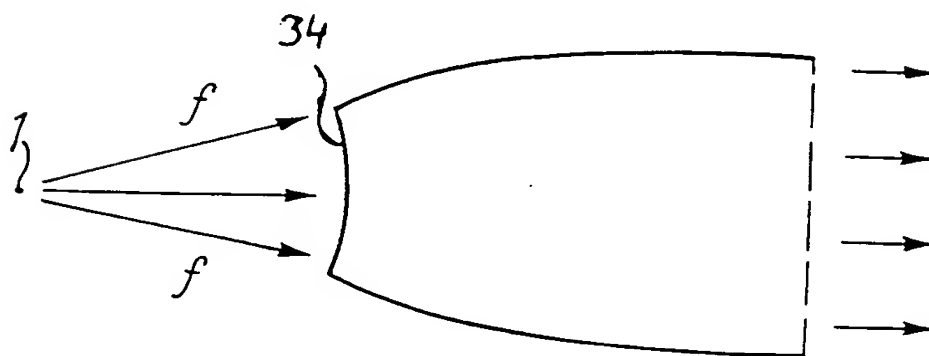


FIG. 27

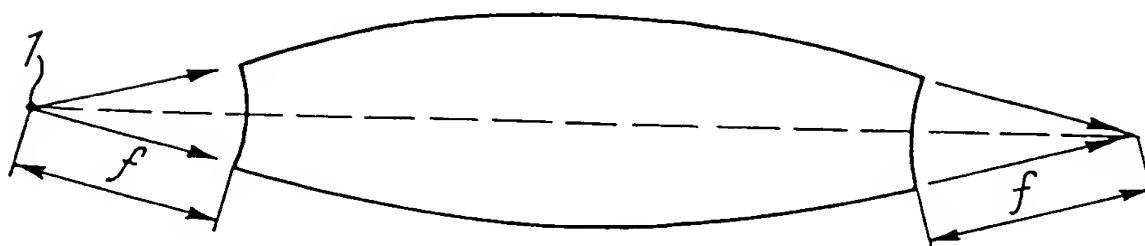


FIG. 28

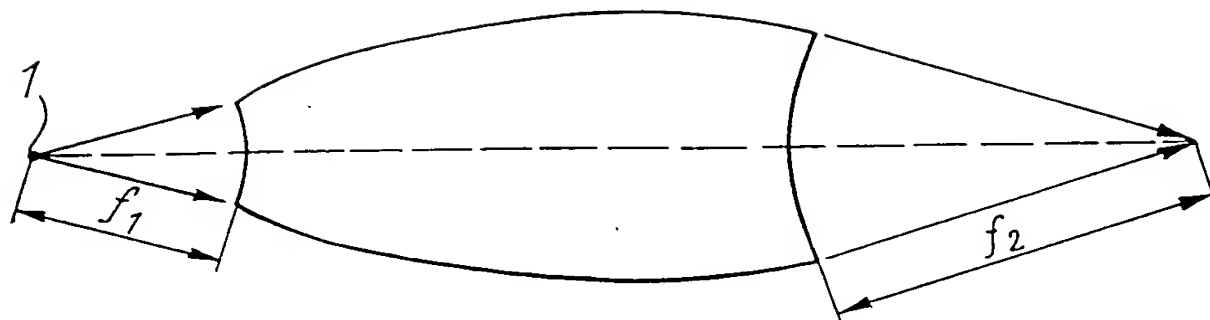


FIG. 29

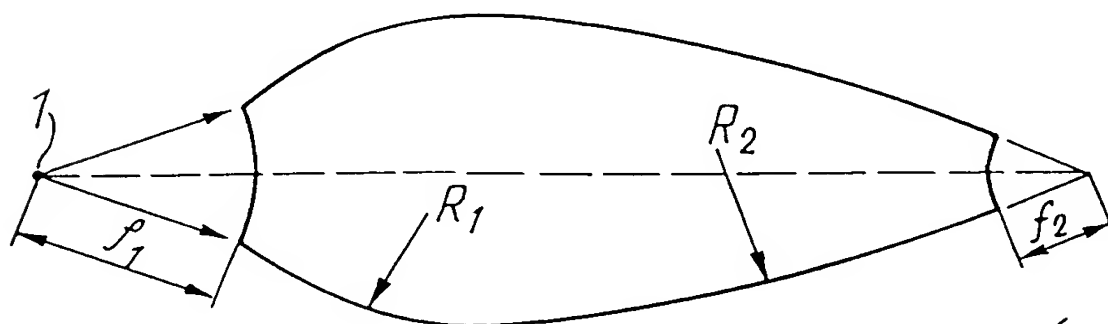


FIG. 30

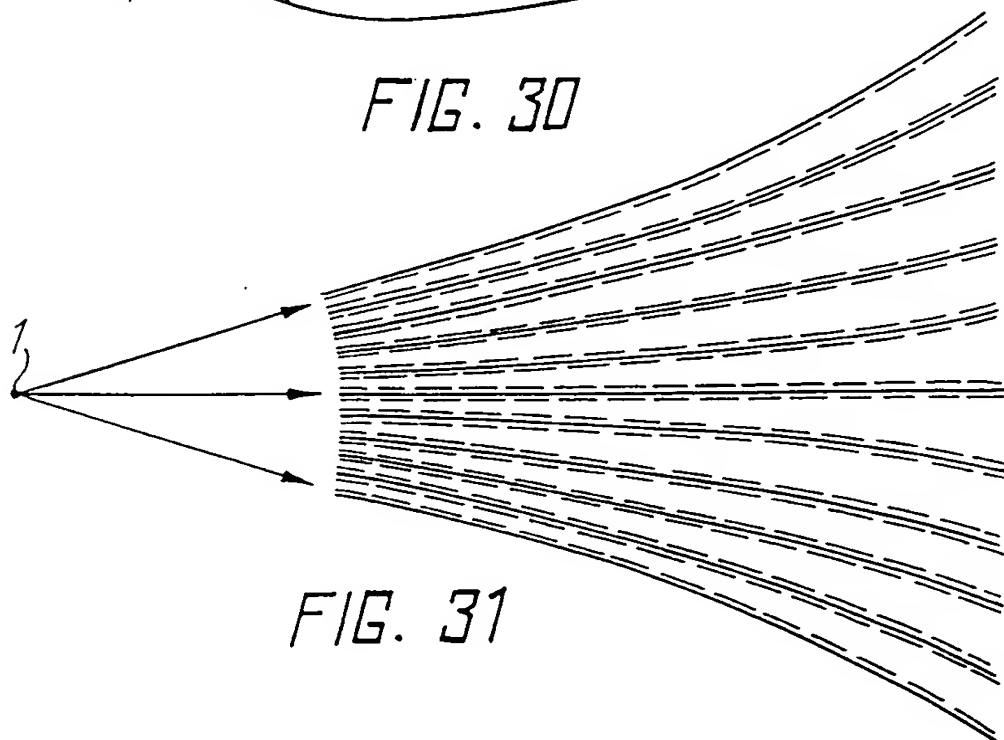


FIG. 31

14 / 14

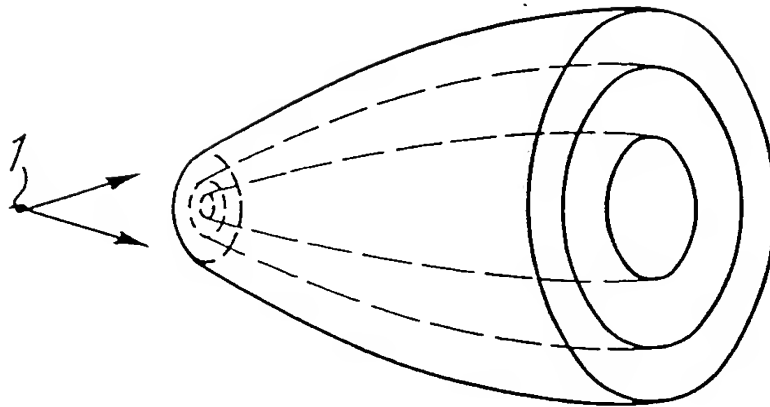


FIG. 32

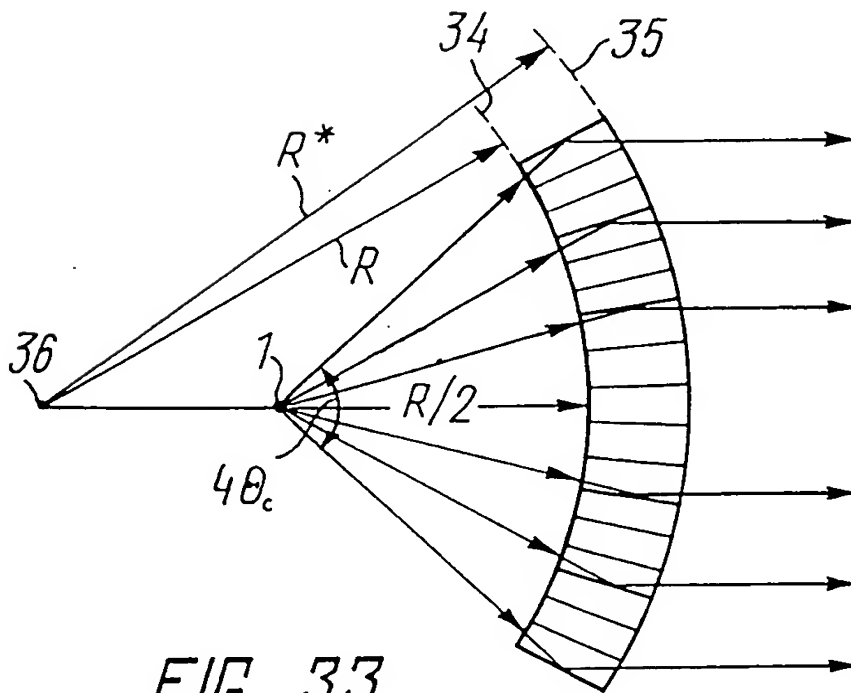


FIG. 33

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl.6 : G01N 23/04, G21K 1/06  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl.5: G01N 23/00-23/222, G21K 1/00, 1/02, 1/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO, A1, 92/08235 (THE INSTITUTE FOR X-RAY OPTICAL SYSTEMS, INC), 14 May 1992 (14.05.92), Fig. 39-43	1-3, 9, 16, 20
A	the abstract	4-8, 10-15, 17-19, 21-30, 33, 36-48, 50-67
X	Fig. 1-5, 11, 12	31, 32, 35
X	Claim n°13, Fig.1	34
Y		49
Y	Fig. 36, 37, 38A	49
X	WO, A1, 92/09088 (COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION) 29 May 1992 (29.05.92), claims n°5, 16, 17, 21, Fig. 1a, 1b, 2, 3, 5	1-3, 6, 9, 31-33, 35, 36, 38, 43
A	the abstract	4, 5, 7, 8, 10-30, 34, 37, 39-67

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 February 1995 (28.02.95)

Date of mailing of the international search report

14 March 1995 (14.03.95)

Name and mailing address of the ISA/ RU

Authorized officer

Facsimile No

Telephone No

# ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка No  
PCT/RU 94/00189

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ: G01N 23/04, G21K 1/06  
Согласно Международной патентной классификации (МКИ-6)

В. ОБЛАСТИ ПОИСКА:

Проверенный минимум документации (Система классификации и индексы) МКИ-5: G01N 23/00-23/222, G21K 1/00, 1/02, 1/06

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если возможно, поисковые термины):

С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория (*)	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту No.
X	WO, A1, 92/08235 (THE INSTITUTE FOR X-RAY OPTICAL SYSTEMS, INC), 14 мая 1992 (14.05.92), фиг.39-43	1-3, 9, 16, 20
A	реферат	4-8, 10-15, 17-19, 21-30, 33, 36-48, 50-67
X	фиг.1-5, 11, 12	31, 32, 35
X Y	п.13 формулы, фиг.1	34 49

☒ последующие документы указаны в продолжении графы С ☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов:	"Т"-более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения.
"А"-документ, определяющий общий уровень техники.	"Х"-документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну и изобретательский уровень.
"Е"-более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее.	"У"-документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории.
"О"-документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.	"&"-документ, являющийся патентом-аналогом.
"Р"-документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета.	

Дата действительного завершения международного поиска  
28 февраля 1995 (28.02.95)

Дата отправки настоящего отчета о международном поиске  
14 марта 1995 (14.03.95)

Наименование и адрес Международного поискового органа:  
Всероссийский научно-исследовательский институт государственной патентной экспертизы, Россия, 121858, Москва, Бережковская наб. 30-1  
факс (095) 243-33-37, телетайп 114818 ПОДАЧА

Уполномоченное лицо:

Т.Владимирова

тел. (095) 240-58-88



ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка No.

PCT/RU 94/00189

С. (Продолжение) ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория (*)	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту No.
Y	фиг. 36, 37, 38A	49
X	WO. A1. 92/09088 (COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION) 29 мая 1992 (29.05.92), пп. 5, 16, 17, 21 формулы, фиг. 1a, 1b, 2, 3, 5	1-3, 6, 9, 31-33, 35, 36, 38, 43
A	реферат	4, 5, 7, 8, 10-30, 34, 37, 39-67